

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ЕРЕСИКОВА ИРИНА АНДРЕЕВНА**

**Оценка запасов питьевых подземных вод для водоснабжения города  
Кимры Тверской области**

Дипломная работа специалиста по образовательной программе  
«Гидрогеология и инженерная геология»

**«К ЗАЩИТЕ»**

Научный руководитель:  
доцент А.А. Потапов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016

Заведующий кафедрой:  
доцент П.К. Коносовский

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016

Санкт-Петербург

2016г

## АННОТАЦИЯ

В дипломной работе представлены методика и результаты оценки запасов питьевых подземных вод для водоснабжения г. Кимры (Тверская область) с водопотребностью 5500 м<sup>3</sup>/сут. Произведено определение фильтрационных параметров продуктивного сетуньско-донского водоносного горизонта по аналитическим решениям. Выполнена оценка качества подземных вод в соответствии СанПиН 2.1.4.1074-01. Осуществлен подсчет запасов подземных вод по аналитическим решениям. Произведен расчет поясов зоны санитарной охраны в соответствии СанПиН 2.1.4.1110-02.

The research paper presents the methodology and results of the assessment groundwater storage of underground drinking waters for supply of Kimry city (Tver Region) with water requirement of 5500 m<sup>3</sup>/day: the estimation of filtration parameters productive setunsky-donskoy aquifer using analytical solutions; groundwater quality in accordance with SanPiN 2.1.4.1074-01; the estimation of groundwater storage on analytical solutions; calculation of protective sanitary zones in accordance with SanPiN 2.1.4.1110-02.

## Содержание

Введение	4
Глава 1. Физико-географическая характеристика района работ	5
Глава 2. Геологическое строение района работ	8
Глава 3. Общая гидрогеологическая характеристика района работ	15
Глава 4. Объем и методика выполненных гидрогеологических работ	19
Глава 5. Результаты интерпретации опытно-фильтрационных работ	24
Глава 6. Оценка качества подземных вод и геоэкологической обстановки	37
Глава 7. Подсчет запасов подземных вод	41
Глава 8. Расчет поясов зоны санитарной охраны	46
Глава 9. Рекомендации по проведению дальнейших полевых и лабораторных гидрогеологических работ для оценки запасов по категориям С <sub>2</sub> и В	51
Заключение	53
Литература	55

## **Введение.**

Цель работы - оценка запасов питьевых подземных вод для г. Кимры Тверской области с водопотребностью 5500 м<sup>3</sup>/сут.

Задачи:

- 1) Оценка фильтрационных параметров продуктивного горизонта.
- 2) Оценка качества подземных вод продуктивного и смежных горизонтов.
- 3) Подсчет запасов подземных вод.
- 4) Расчет зон санитарной охраны и геоэкологическая оценка обстановки.

Материалы для выполнения работы были получены в ходе производственной практики в августе месяце 2012 года ОАО «Геоцентр - Москва».

В результате работы были оценены запасы подземных вод и их качество. Оценка фильтрационных параметров и подсчет запасов производились по аналитическим решениям. Оценка качества производилась по результатам анализа 4 гидрохимических проб в соответствии СанПиН 2.1.4.1074-01.

При написании дипломной работы выражаю огромную благодарность своему научному руководителю доценту кафедры гидрогеологии Института наук о Земле СПбГУ Потапову А.А.

## **1. Физико-географическая характеристика района работ.**

Рассматриваемый район расположен в Кимрском районе Тверской области, в средней части Восточно-европейской равнины, у слияния рек Волги и Кимрки (рис. 1.).

Город Кимры - административный центр Кимрского района, расположенного в юго-восточной части Тверской области, на границе с Московской областью. Численность населения города составляет 50,5 тыс. человек (на 01.01.2002 г.). Через город проходит железнодорожная линия и автодороги местного значения.

Участок поисковых работ расположен на правом берегу р. Волги практически в пригороде г. Кимры в долине р. Волги, на расстоянии 2,0-2,5 км к ЮЮЗ от южной окраины г. Кимры (н.п. Клетино, Прислон, Притыкино).

Вблизи участка работ проложены асфальтированные автомобильные дороги. Сами участки расположены в долине р. Волги, на частично залесенных и заболоченных территориях, проезды к проектным скважинам – по грунтовым дорогам. В районе участков много смешанных лесов.

Климат района умеренно-континентальный с холодной зимой, теплым летом, резкими колебаниями температуры в течение года (по сезонам) с повышенным количеством атмосферных осадков за счет преобладания переноса воздушных масс с запада. Среднегодовая температура воздуха по метеостанции г. Твери составляет +3,9<sup>0</sup>С. Максимальная летняя температура достигает +30<sup>0</sup>С. Минимальная зимняя температура с ветрами и метелями наблюдается в январе-феврале и составляет ниже минус 35<sup>0</sup>С. Устойчивые морозы начинаются во второй половине ноября и продолжаются до середины марта.

Осадки по месяцам года распределяются неравномерно. По данным многолетних наблюдений 40% осадков приходится на летний период, 20% - на осенний, 16 % - на зимний и 19%- на весенний период. Наибольшее количество выпадает в июле, наименьшее – в январе - феврале.

Снег обычно выпадает во второй половине ноября и сходит в середине апреля, удерживаясь на поверхности 140 -150 дней. Средняя мощность снежного покрова 40 – 60 см, достигая максимума в феврале – марте. Преобладающее направление ветров в районе юго-западное.

Рассматриваемый район является частью Верхне-Волжской низменности и в основном обладает типичным равнинным обликом. Основные формы рельефа

образовались в эпоху Московского оледенения. Поверхность представляет собой обширную равнину, расчлененную речными долинами. Расчлененность рельефа незначительная, речные долины выражены слабо. Абсолютные отметки поверхности в долинах рек колеблются в пределах 115 – 120 м, на водоразделах 124 – 140 м. Характерной особенностью ландшафта является обширная заболоченность.

Основной водной артерией района является р. Волга. Река Волга протекает среди заливной равнины в направлении с запада на северо - восток. Речной сток зарегулирован Угличской плотиной, таким образом, на отрезке г. Дубна (Московская обл.) - д. Плешково (Тверская обл.) р. Волга и ее притоки являются частью Угличского водохранилища. Ширина реки составляет 320-390 м, уровень воды поднят до абс. отм. 113 м. Скорость течения – 0.1 м/с, дно песчаное и песчано-глинистое. Река Волга и ее притоки относятся к восточно-европейскому типу рек, для которого характерно высокое половодье, низкая летняя межень и повышенный сток осенью. Высокое половодье обычно начинается в первой половине апреля, продолжительностью 10-14 дней. В зимнее время источником питания рек являются грунтовые воды, а в весеннее половодье наблюдается подпор грунтовых вод реками. Питание рек смешанное: 48% за счет снеговых вод, 38% - грунтовых и 14 % дождевых.

Река Волга и ее притоки имеют пойменную и две надпойменные террасы. Низкая пойма, затапливаемая в весеннее время, развита в основном на малых реках. Высокая пойма развита повсеместно, имеет ширину 200-700 м. и наклон в сторону пойменной террасы. Первая надпойменная терраса отчетливо выражена в рельефе и возвышается над поймой на 2-4 м. Поверхность ее занята лесами, лугами и притеррассовыми болотами.

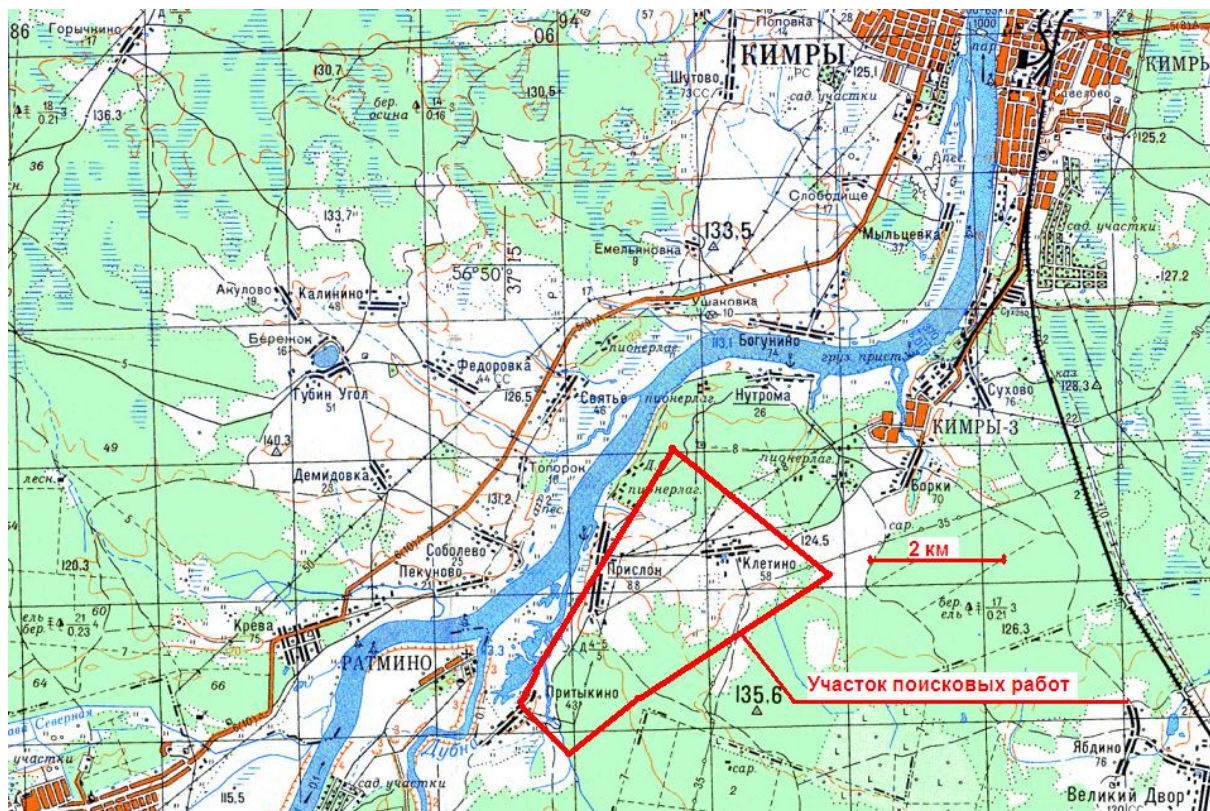


Рис.1. Обзорная карта участка.



## 2. Геологическое строение района работ.

Территория района расположена в центральной части Московской синеклизы. В геологическом строении рассматриваемой площади принимают участие архейские-нижне-протерозойские метаморфические и магматические породы кристаллического фундамента и верхнепротерозойские (рифей-венд), палеозойские (девон, карбон, пермь), мезозойские (юра) и кайнозойские (плейстоцен) отложения осадочного чехла. В тектоническом отношении территория располагается вблизи осевой части Московской синеклизы на ее северо-западном склоне.

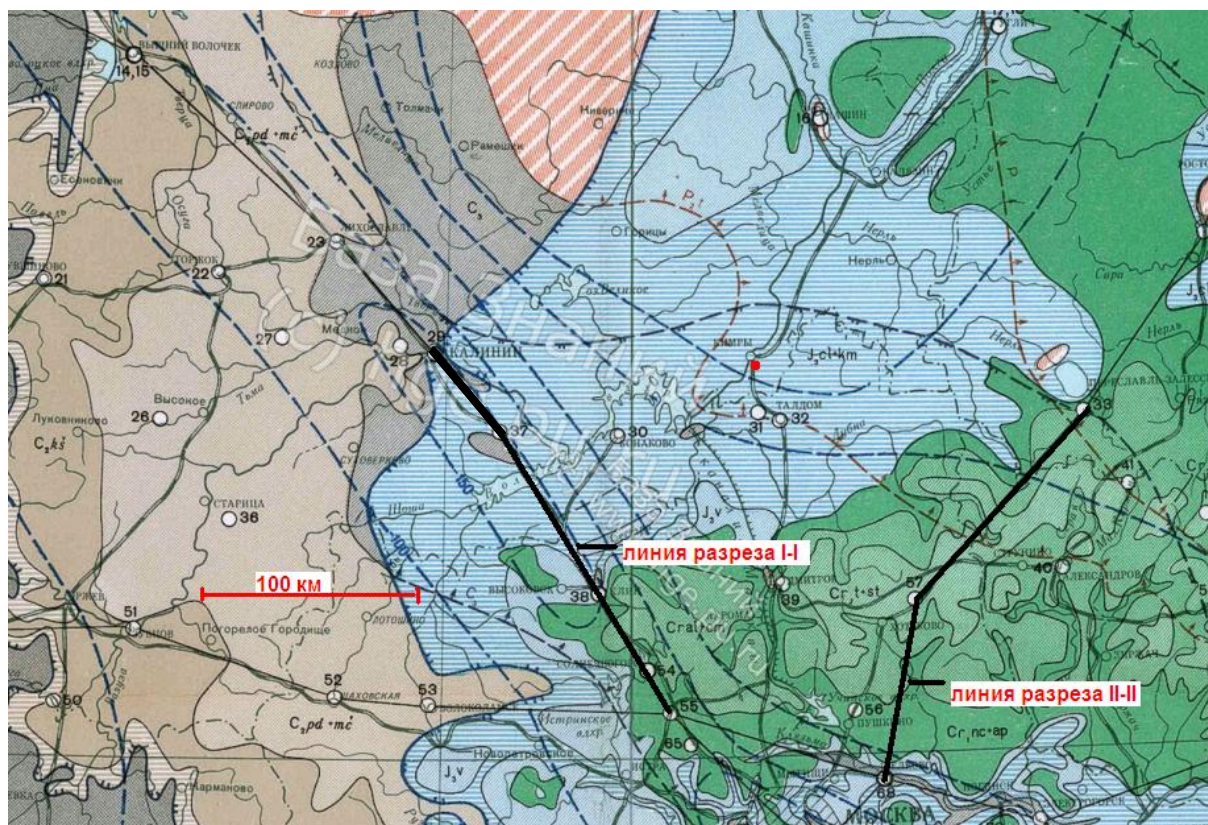


Рис.2. Геологическая карта рассматриваемого участка.



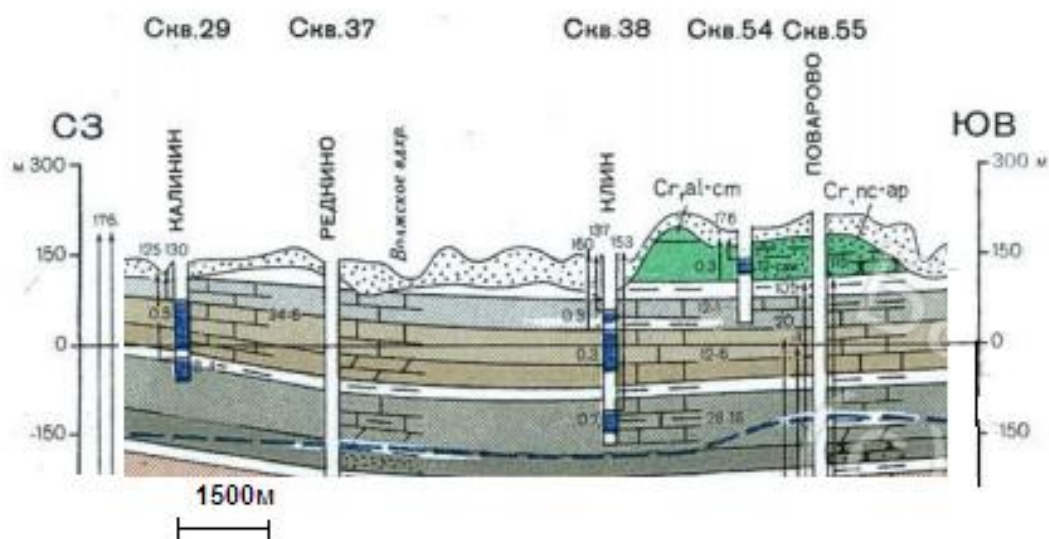


Рис.3. Геологический разрез по линии I-I скв.29-скв 55

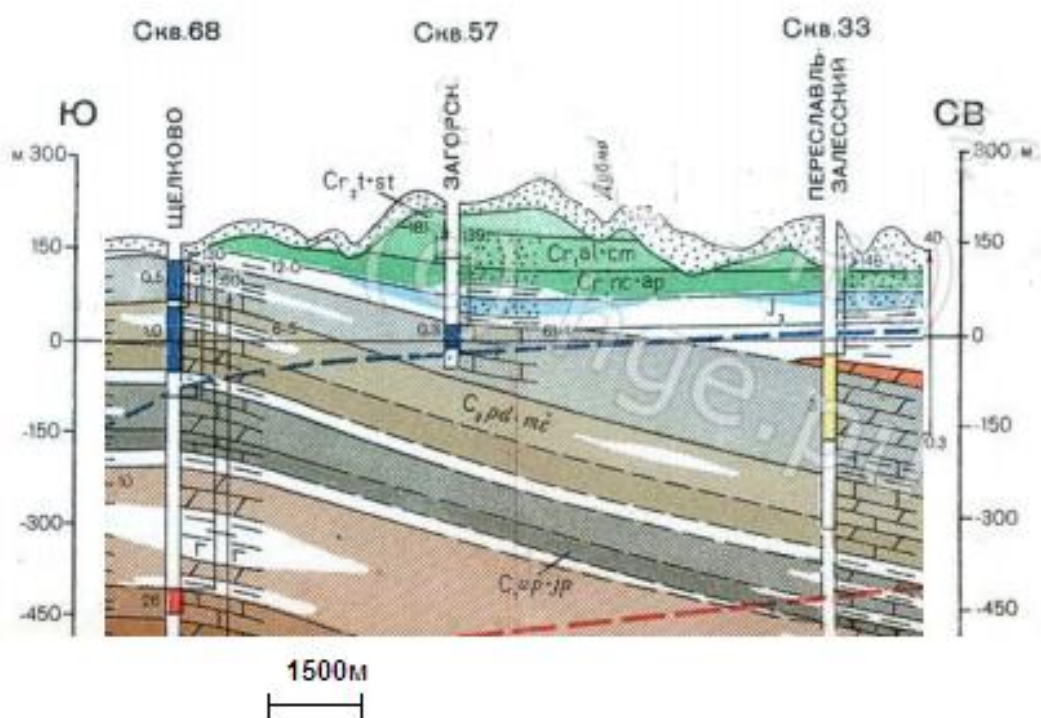


Рис.4. Геологический разрез по линии II- II скв.68-скв 33

## Каменноугольная система

### Верхний отдел

#### Гжельский ярус (C3g)

Ярус развит на всей территории и представлен речицкой, амерьевской, павлово-посадской и ногинской свитами.

*Речицкая свита (C3rc)* по литологическим признакам делится на две подсвиты: нижнюю русавкинскую (C3rs) и верхнюю – щелковскую (C3sc). Русавкинская подсвита представлена известняками, и доломитами. Мощность подсвиты изменяется от 2,5 до 6 м, обычно составляя 3-4 м. Щелковская подсвита на большей части площади своего развития представлена мергелями и глинами, содержащими редкие маломощные прослои известняков, лишь вблизи западной границы ее распространения в разрезе щелковской подсвиты преобладают мергелистые доломиты мощностью 2-3 м.

*Амерьевская свита (C3am)* представлена плотными, пористыми и кавернозными, в крайней северо-восточной части площади загипсованными доломитами, реже известняками. В верхней, реже в средней и нижней частях разреза встречаются единичные прослои мергелей и глин мощностью от 0,1 до 6 м. Количество и мощность прослоев терригенного материала возрастает в восточном направлении.

*Павлово-посадская свита (C3pp)* сложена глинистыми, тонкозернистыми, плотными, местами пористыми и кавернозными, участками окремненными и загипсованными доломитами или известняками мощностью до 18 м.

*Ногинская свита (C3ng)* представлена светло-серыми доломитами или известняками, отличающимися от павлово-посадских наличием единичных прослоев органогенных известняков и отсутствием глинистого материала. Мощность свиты на территории работ 20-24 м.

Наблюдается интенсивная загипсованность доломитов в гжельском ярусе, особенно сильно выраженная в верхней части разреза. Здесь гипс образует прослои 2-4 м мощности. Доломиты нижней части разреза загипсованы по трещинам, иногда встречаются гнезда и линзы гипса, мощностью до 0,2 м.

Пермская система.

Нижний отдел.

Ассельский ярус (P1a).

Отложения ассельского яруса залегают на ногинской свите и представлены однообразной толщей светлых доломитов и известняков. Распространен в восточной части территории работ.

Верхний отдел.

Татарский ярус (P2t).

Отложения яруса покрывают северную половину территории работ и опускаются до южной. Граница их по диагонали пересекает район работ и проходит несколько западнее г. Кимры. Частично или полностью они уничтожены в пределах древних дочетвертичных долин. Представлены пестроцветными, сильно слюдистыми, в разной степени загипсованными глинами, с прослоями песков и алевроитов. Максимальная вскрытая мощность яруса - 30 м.

Триасовая система.

Нижний отдел.

Вохминская свита (T<sub>1</sub>vh)

Отложения вохминской свиты развиты на крайней северо-восточной части территории. Представлены глинами с единичными прослоями песков, песчаников и алевроитов мощностью до 3м. Глины буровато-красные, алевроитистые или аргилитоподобные, известковистые. Мощность до 10 м.

Юрская система.

Юрские отложения на территории исследований развиты повсеместно. Представлены песчано-глинистыми отложениями келловейского, оксфордского и кимериджского ярусов среднего и верхнего отделов. На севере территории юрские отложения залегают с размывом на красноцветных отложениях верхней перми; на юге - на карбонатных породах нижнепермского, реже верхнекаменноугольного возрастов.

Средний отдел.

Келловейский ярус (J2k).

Граница распространения отложений келловейского яруса совпадает с границей развития юрских пород в целом. Их подошва погружается в восточном направлении от

60 м до 30- 40 м. Отложения представлены глинами серыми до темно- серых, сильно алевритистыми или алевролитами глинистыми; вверх по разрезу сменяющимися глинами серыми пелитовидными, вязкими, неравномерно известковистыми, с прослоями мергеля. Мощность толщи увеличивается в северо-восточном направлении.

#### Верхний отдел

##### Оксфордский ярус (J3o).

Граница распространения отложений оксфордского яруса совпадает с границей развития среднеюрских отложений, но несколько уже. Со слабовыраженными следами размыва залегает на глинах келловейского яруса. Перекрываются отложениями кимериджского яруса или четвертичными отложениями. Сложен ярус довольно однообразными глинами темно-серыми до черных, алевритовыми до тонкопесчанистых, в кровле черными известковыми, алевритистыми или жирными, плотными. Мощность 9-11 м.

##### Кимериджский ярус (J3km).

Отложения кимериджского яруса имеют ограниченное распространение на территории работ по сравнению с нижележащими ярусами. Сохранились в виде отдельных «островов» различной площади и конфигурации. Залегают на оксфордском ярусе с незначительным размывом и представлены черными глинами, сильно известковистыми, алевритовыми до тонкопесчаных, слабо - тонкослюдистыми, с гнездами глауконитового песка. Мощность не более 5 м.

##### Волжский ярус (J3v).

Отложения волжского яруса широко развиты на северо-западе территории и фрагментарно в ее юго-восточной части. Они с размывом залегают на кимериджских глинах. Представлены волжские образования темно-серыми песчаными алевритами и сильно глинистыми кварц-глауконитовыми песками, в основании содержащими стяжения фосфоритов. В основании свиты пески нередко сцементированы до песчаников.

#### Меловая система.

Распространена в юго-восточной части рассматриваемого район. Выделяются седующие яруса: аптский, альбский, сенмоанский, туронский и сантонский. Вся меловая система представлена слоями различных песков. В белых кварцевых песках попадаются линзы очень крепких белых кварцевых песчаников, в рыжих песках

встречаются рыхлые ожелезненные песчаники, есть слои с большим включением конкреций фосфорита, конкреций пирита. Черные слюдистые глины имеют меньшее распространение, они очень похожи на юрские глины

#### Четвертичная система.

Отложения четвертичной системы развиты повсеместно. Они залегают на размытой поверхности юрских, каменноугольных и пермских отложений. В строении четвертичного покрова принимают участие ледниковые, водно-ледниковые, аллювиальные, озерные и болотные отложения от нижнечетвертичных до современных.

#### Нижнее звено.

*Сетуньский - донской горизонт (f, lqIst-ds).* Сетуньско-донские водно-ледниковые отложения весьма широко развиты по площади. Представлены разнотернистыми песками, преимущественно мелко- и среднетернистыми, иногда гравелистыми, часто глинистыми с прослоями галечников.

*Донской горизонт. Ледниковые отложения - морена (qIds)* распространены практически повсеместно за исключением единичных участков их размыва по долинам рек и в пределах водоразделов. Донская морена залегает на размытых поверхностях более древних отложений и сложена преимущественно суглинками с редкими линзами супесей, песков и глин.

#### Нижнее - среднее звено.

*Донской - московский горизонты (f, lqIds-IIms).* Водно-ледниковые - аллювиальные отложения развиты на небольших участках водоразделов. Представлены разнотернистыми песками, содержащими песчано-гравийные слои, линзы супесей и суглинков.

#### Среднее звено.

*Московский горизонт. Ледниковые отложения - морена (qIIms).* Сложена морена известковистыми суглинками с прослоями, линзами и гнездами песчано-гравийных отложений и песков, количество которых резко возрастает в пределах крупных холмов. На участках размыва в пределах долин крупных рек района в единичных случаях морена целиком сложена гравийно- или валунно-галечным материалом в песчано-суглинистом заполнении.

*Водно-ледниковые отложения времени отступления московского ледника (fs,lg II ms)* довольно широко развиты по склонам водораздельных пространств и депрессионных понижениях водоразделов. Сложены они преимущественно песками и супесями.

Верхнее звено.

*Нижневалдайский горизонт.Аллювиальные отложения (a III v1).*

Нижневалдайские аллювиальные отложения слагают вторую надпойменную террасу, которая фрагментарно развита по долинам р. Волги и Дубны. Сложена терраса грубозернистыми песками с включением гравия и гальки.

*Средневалдайский - верхневалдайский горизонты.Аллювиальные отложения (a III v2-3).*Слагают первую надпойменную террасу, которая прослеживается по долинам крупных и средних рек района. Первая надпойменная терраса – аккумулятивная, аллювий ее, как правило, уходит под урез воды. Представлен он разнотернистыми песками. В нижней части встречается гравийно-галечный материал, в верхней – супеси с прослоями суглинков.

Современное звено.

*Аллювиальные отложения (a IV hl.)*Слагают русла и пойменные террасы всех рек района. Русловые фации представлены грубозернистыми песками с примесью гравия, гальки, валунов. Пойменные и старичные фации представлены песками, переслаивающимися с супесями, иногда с суглинками.

*Болотные отложения (h IV hl.,)*Распространены широко и встречаются на обширных площадях по левобережью р. Волги. Эти отложения представлены глинами мощностью до 0,5-1,0 м; торфом различной степени разложения мощностью до 5 - 8,0 м и иловатыми супесями.



### 3. Общая гидрогеологическая характеристика района работ.

Согласно гидрогеологическому районированию рассматриваемая территория приурочена к центральной части Московского артезианского бассейна.

Непосредственно в пределах исследуемой территории (в районе участка работ) в верхней части разреза выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

- слабоводоносный, локально водоносный московский ледниковый комплекс ( $g\Pi ms$ );
- водоносный донско-московский водноледниковый горизонт ( $f,lgIds-\Pi ms$ );
- слабоводоносный донской ледниковый комплекс ( $gIds$ );
- водоносный сетунско-донской водноледниковый горизонт ( $f,lgIdst-ds$ );
- водоупорный келловей-кимериджский терригенный горизонт ( $Jk-km$ );
- водоносный кутузовско-ассельский карбонатный горизонт ( $C_3 kt-P_1a$ );
- водоупорный малинниковский терригенный горизонт ( $C_3 ml$ );
- водоносный турабьевский карбонатный горизонт ( $C_3 trb$ );

Для централизованного водоснабжения на территории работ используются подземные воды преимущественно четвертичных водоносных горизонтов кутузовско-ассельского водоносного горизонта. Воды четвертичных отложений дренируются как крупными, так и мелкими реками и ручьями. Основная разгрузка происходит по долинам рек Волги и Кимрки. Воды четвертичных отложений, в основном, безнапорные, но иногда на отдельных участках имеют местный напор.

Область питания четвертичных отложений совпадает с их областью распространения. Питание происходит за счет атмосферных осадков, паводковых вод. Большое влияние на формирование запасов подземных вод в четвертичных отложениях оказывают реки.

*Слабоводоносный, локально водоносный московский ледниковый комплекс ( $g\Pi ms$ )* имеет широкое распространение, отсутствует лишь в долине р. Волги. Обводнена вся толща морены, наиболее водообильны прослои и линзы песков в толще суглинков. Водовмещающие породы представлены суглинками с валунами, гравием, с прослоями и линзами песков, супесей и глин. Московская морена обладает слабоводоносными свойствами, лишь на отдельных участках является относительным водоупором, в силу фациальной изменчивости пород. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков или за счет перетока из вышележащих горизонтов. Дренируется путем перетока в нижележащие горизонты. Мощность составляет 21 м.

*Водоносный донско-московский водноледниковый горизонт ( $f,lgIds-\Pi ms$ ).* Водовмещающие породы представлены разнотерристыми песками, с прослоями и

линзами суглинков, глин с включениями валунов, гравия, гальки. Воды горизонта напорные. Водообильность горизонта невысокая. Питание горизонта осуществляется за счет перетока из вышележащих водоносных горизонтов, разгружается в нижележащие горизонты. Мощность 5 м.

*Слабоводоносный донской ледниковый комплекс (glds).* Водовмещающие породы представлены в основном суглинками, с включением гравия, гальки, валунов, с прослоями и линзами глин, алевролитов, песков, отторженцами юрских и пермско-триасовых глин. Водообильность морены низкая. Питание получает из вышележащих горизонтов, разгружается в нижележащие. Мощность 8 м.

*Водоносный сетуньско-донской водноледниковый горизонт (f,lgls-ds).* Водовмещающие породы – пески разнотернистые, с включением гравия и гальки. Суглинки, глины, торф встречаются в виде линз. Горизонт практически повсеместно перекрыт относительно водоупорными слабоводоносными отложениями донской морены. Подстиляется водоносный горизонт чаще всего глинами водоупорного келловей-киммериджского горизонта, реже песками волжского водоносного горизонта. Водоносный горизонт является напорным. Водообильность горизонта зависит от мощности и гранулометрического состава песков. Питание водоносного горизонта осуществляется из вышележащих гидрогеологических подразделений, разгрузка – перетоком в нижележащие горизонты и комплексы. Мощность горизонта составляет 24 м.

*Водоупорный келловей-киммериджский терригенный горизонт (Jk-kt).* Является региональным водоупором для исследуемой площади. Представлен глинами, часто сильно известковистыми, с прослоями глинистых алевроитов. Мощность горизонта изменяется от 5 до 16 м.

*Водоносный гжельско-ассельский карбонатный горизонт (C3g-P1a).* Приурочен к отложениям ассельского яруса нижнего отдела пермской системы и павлово-посадской и ногинской свит гжельского яруса верхнего карбона. Распространен повсеместно и является основным эксплуатационным горизонтом на большей части территории. В Кимрском районе данный горизонт активно эксплуатируется одиночными скважинами и мелкими водозаборами.

Водовмещающими породами служат известняки и доломиты с маломощными прослоями глин и гипсов. Водоносный горизонт повсеместно подстиляется водоупорным малинниковским горизонтом. Перекрывается в северо-восточной части

территории водоупорным, локально слабоводоносным татарско-ветлужским комплексом, на юге территории - водоупорным келловей-кимериджским терригенным горизонтом. На участках палеодолин горизонт перекрывается различными четвертичными водоносными подразделениями, в том числе и сетуньско-донским водноледниковым горизонтом.

Водоносный горизонт является напорным. На территории работ в пределах водоносного кутузовско-ассельского карбонатного горизонта происходит переход от пресных вод к солоноватым, что обуславливает пестроту химического состава и минерализации вод. Различная загипсованность водовмещающих пород определяет гидрогеохимическую неоднородность горизонта по площади и в разрезе. Граница пресных и солоноватых вод тяготеет к границе распространения водоупорного, локально слабоводоносного терригенного татарско-ветлужского комплекса.

Пресные подземные воды кутузовско – ассельского водоносного горизонта широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Участки поисковых работ расположены в области распространения пресных подземных вод, и геологоразведочные работы ориентированы на поиски пресных подземных вод в пределах кутузовско-ассельского водоносного горизонта. Мощность горизонта 28 м.

*Водоупорный малинниковский терригенный горизонт (C3ml).* Приурочен к отложениям верхней пачки верхней подсвиты амеревской свиты гжельского яруса верхнего карбона. Распространен повсеместно и представлен глинами пестроцветными, массивными, неслоистыми, часто тонко загипсованными с прослоями доломитов и известняков. Перекрывается повсеместно отложениями кутузовско-ассельского горизонта. В подошве горизонта залегают отложения водоносной амеревской терригенно - карбонатной свиты.

*Водоносный турабьевский (амеревский ) карбонатный горизонт (C3trb).* Приурочен к отложениям нижней и средней подсвит и нижней карбонатной пачке верхней подсвиты амеревской свиты гжельского яруса верхнего карбона. Распространен повсеместно и представлен известняками и доломитами с прослоями глин и гипсов. Водоносный горизонт напорный.

Граница пресных и солоноватых вод в турабьевском водоносном горизонте начинается значительно южнее, чем в кутузовско-ассельском водоносном горизонте. Питание осуществляется путем перетока из вышележащих горизонтов, разгрузка

происходит в нижележащие водоносные горизонты, а также через проницаемые зоны в долинах рек и на водоразделах напорной фильтрацией в вышележащие гидрогеологические подразделения. Ввиду повышенной минерализации ( $>1$  г/дм<sup>3</sup>) и глубокого залегания в районе работ подземные воды турабьевского водоносного горизонта для водоснабжения не используются. Мощность горизонта от 2 м и выше.

#### **4. Объем и методика выполненных гидрогеологических работ.**

Участок проводившихся поисковых работ для обеспечения питьевого водоснабжения г. Кимры располагается на правом берегу р. Волги, на расстоянии 2,0-2,5 км к ЮЮЗ от южной окраины г. Кимры. Протяженность его составляет ~ 4,5 км (н.п. Клетино, Прислон, Притыкино), средняя ширина ~ 1,75 км. Абсолютные отметки поверхности земли – 115-130 м.

На территории участка было пробурено 4 одиночных поисковых скважины:

скважины 2.2, 2.4 и 2.6 были оборудованы на водоносный сетунско-донской водноледниковый горизонт; скважина 2.5 – на водоносный кутузовско-ассельский карбонатный горизонт. Расстояние между скважинами 2.4 и 2.5 составляло около 10м. Расстояние между одиночными скважинами 2.2, 2.4 и 2.6 – около 2 км. Расположение скважин представлено на рисунке 5.

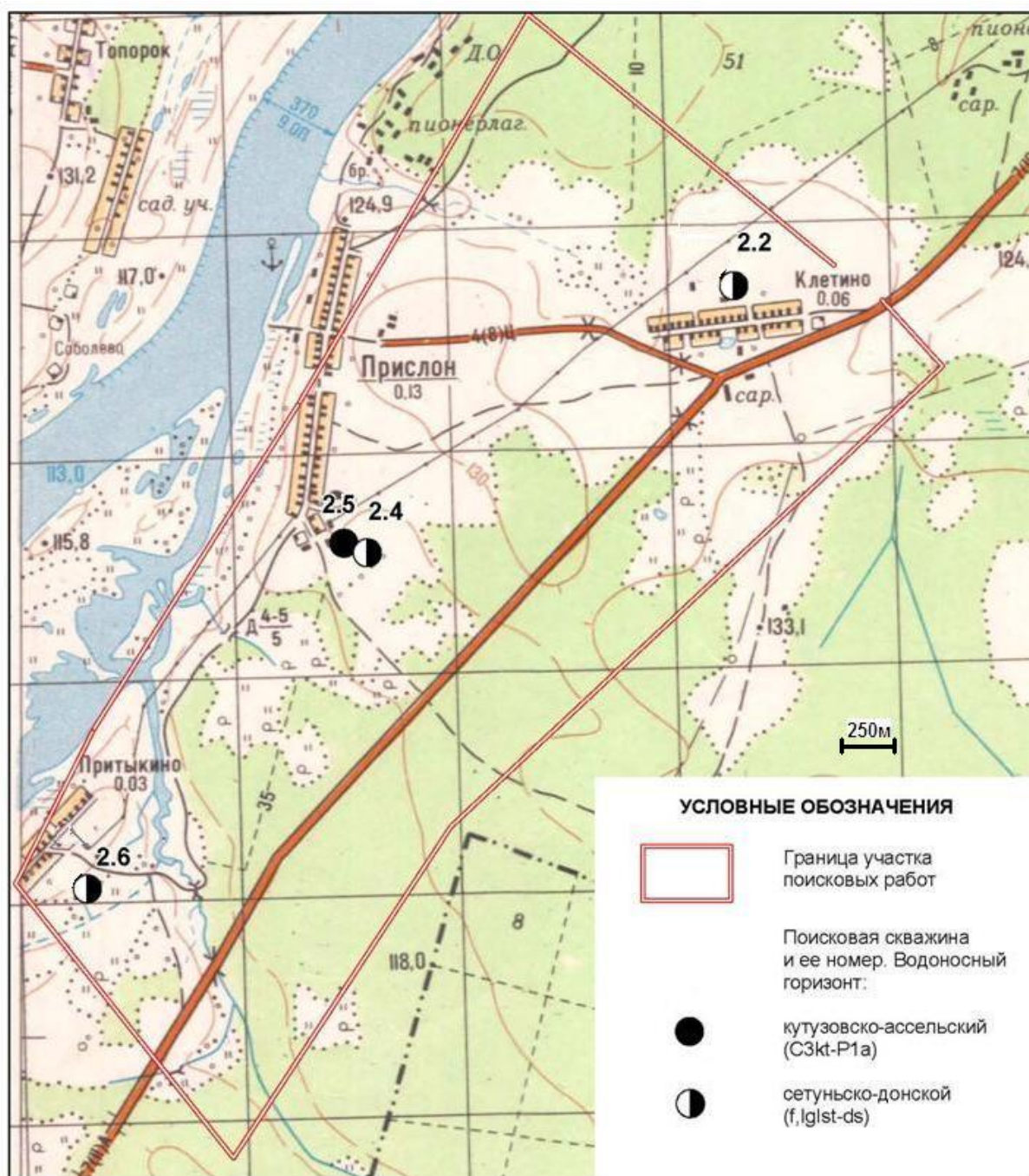


Рис. 5. Схема расположения поисковых скважин. Масштаб 1:25000.

Выбор точек заложения, конструкция скважин и технология буровых работ определялись необходимостью изучения водообильности и качества воды изначально выбранного в качестве продуктивно сетуньско-донского водоносного горизонта, а также смежного с ним кутузовско-ассельского водоносного горизонта в условиях сложной вертикальной и горизонтальной гидрогеохимической зональности.

Бурение всех гидрогеологических скважин осуществлялось самоходной буровой установкой УРБ-3А3. Способ бурения – вращательный роторный колонковый с



последующим расширением ствола до конечных диаметров. В качестве промывочной жидкости использовался глинистый раствор. Для крепления ствола скважин применялись обсадные трубы на ниппельных соединениях с последующим цементированием затрубного и межтрубного пространства на всю длину эксплуатационной колонны. На рисунках 6 и 7 представлены гидрогеологические колонки скважин 2.5 и 2.4 соответственно.

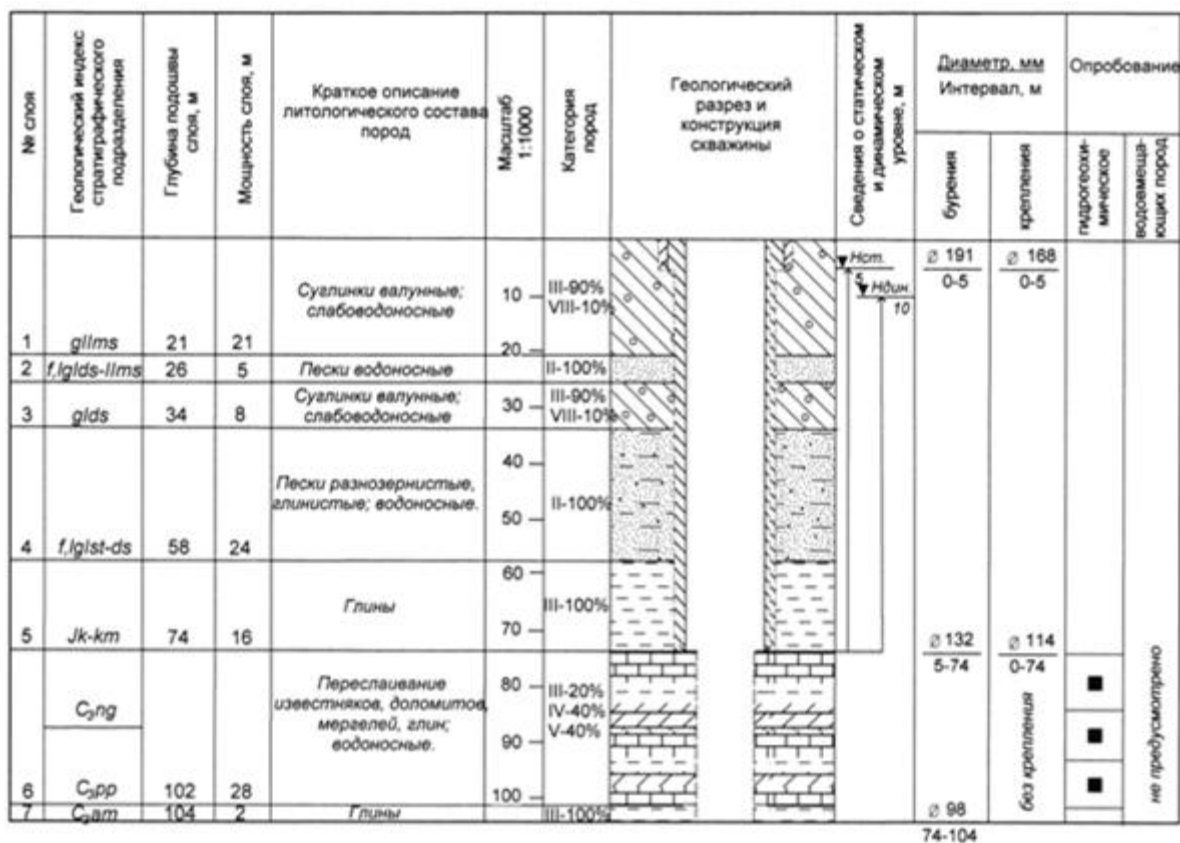


Рис.6. Гидрогеологическая колонка скв. 2.5.  
Абсолютная отметка устья скважины – 118 м абс

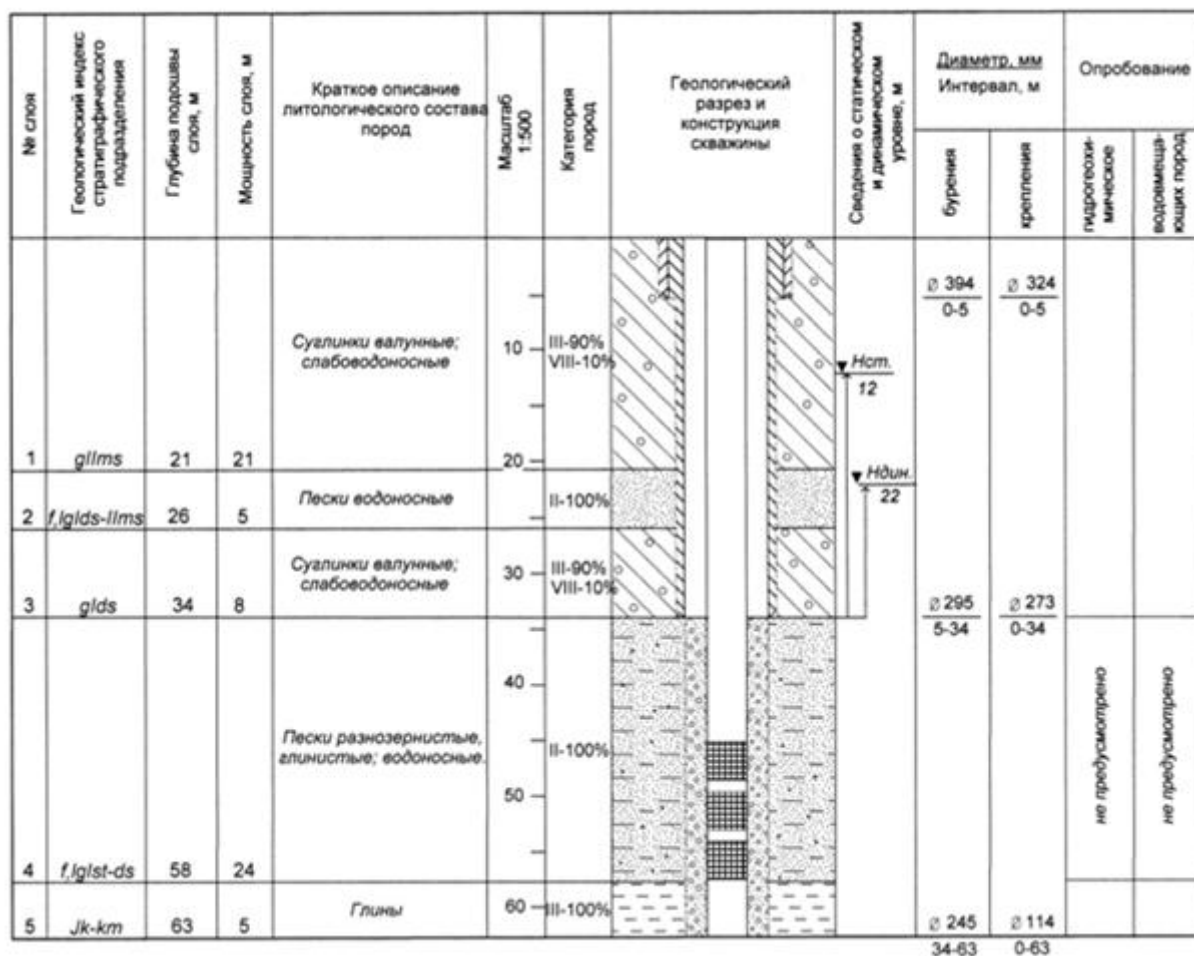


Рис.7. Гидрогеологическая колонка скв. 2.4.

Абсолютная отметка устья скважины -120 м абс.

Водоприемные интервалы скважин 2.2, 2.4 и 2.6 были оборудованы сетчатыми фильтрами с гравийной обсыпкой. Диаметр фильтровой колонны – Ø 114 мм. Вскрытие кутузовско-ассельского горизонта скважиной 2.5 предусматривало бурение Ø 98 мм без крепления (бесфильтровая скважина).

Опытные одиночные откачки из скважин на сетунско-донской горизонт проводились длительностью 4-5 суток и периодом прослеживания восстановления 2 суток. Длительность испытания скважин на кутузовско-ассельский горизонт составила также 5 суток. Все откачки проводились с дебитом, который замерялся объемным способом. Дебит скважин варьировался от 121(в скв.2.6) до 457,9 (в скв.2.2) м<sup>3</sup>/сут, Уровень подземных вод при опытах замерялся электроуровнемерами УСК-ТЭ-200.

Гидрогеохимическое опробование скважин проводилось в конце откачки на сетунско-донской горизонт и через сутки от начала откачки на кутузовско-ассельский

горизонт с целью изучения современного химического состава подземных вод и соответствия качества подземных вод опробуемых горизонтов требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Аналитические работы выполнялись в аккредитованных лабораториях: филиале «Аналитической лаборатории ФГУП ВСЕГИНГЕО, лаборатории АСИЦ ВИМС, лаборатории ФГУП ВИМС, лаборатории филиала ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тверской области».

Рекогносцировочное (площадное) санитарно-экологическое и гидрогеологическое обследование производилось в пределах всего участка работ (рис.5).

## 5. Результаты интерпретации опытно-фильтрационные работы

Одной из задач гидрогеологических работ, как уже говорилось выше, было определение фильтрационных параметров двух водоносных горизонтов: кутузовско-ассельский и сетунско-донской.

Как видно на индикаторных графиках временного прослеживания понижения уровня в координатах  $S-Lg(t)$ , на начальном этапе откачек из всех четырёх скважин (не более первых 10-ти минут) наблюдается резкий скачок понижения уровня воды  $S$  (рис. 8, 9, 10 и 11). Очевидно, что этот скачок связан с наличием техногенного фильтрационного сопротивления в прискважинной зоне, то есть можно говорить о наличии скин-эффекта. В большинстве случаев скин-эффект возникает из-за результата бурения, а именно за счет промывки буровым раствором, в состав которого входит глинистый раствор.

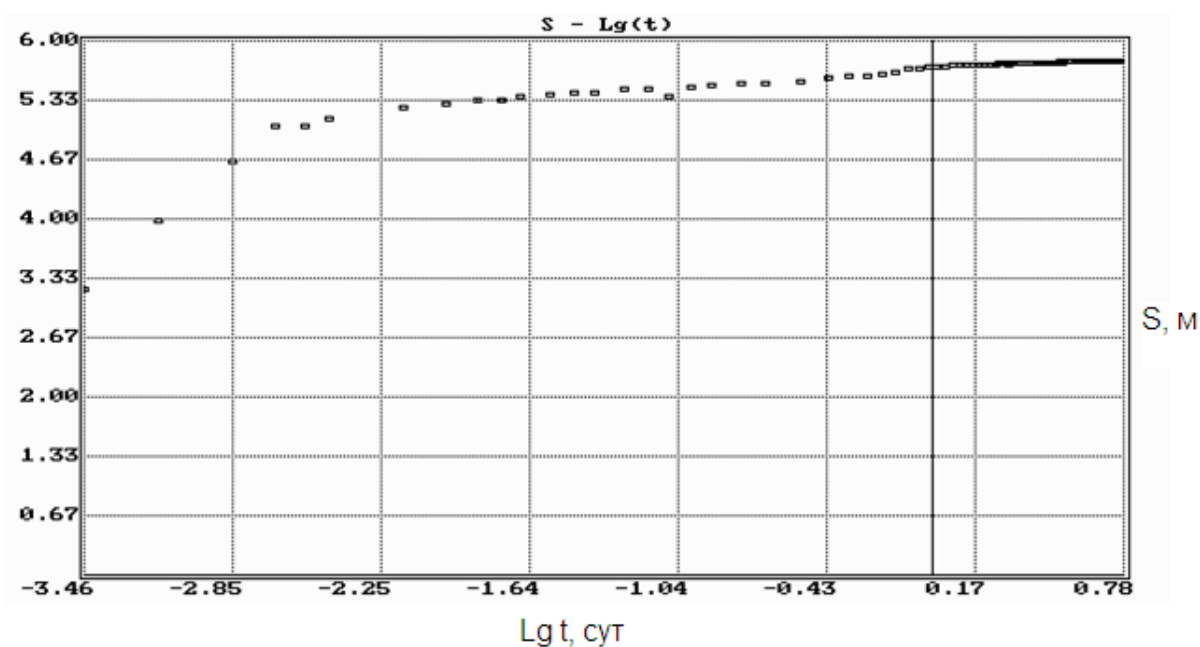


Рис. 8. График временного прослеживания понижения уровня воды в скважине 2.6

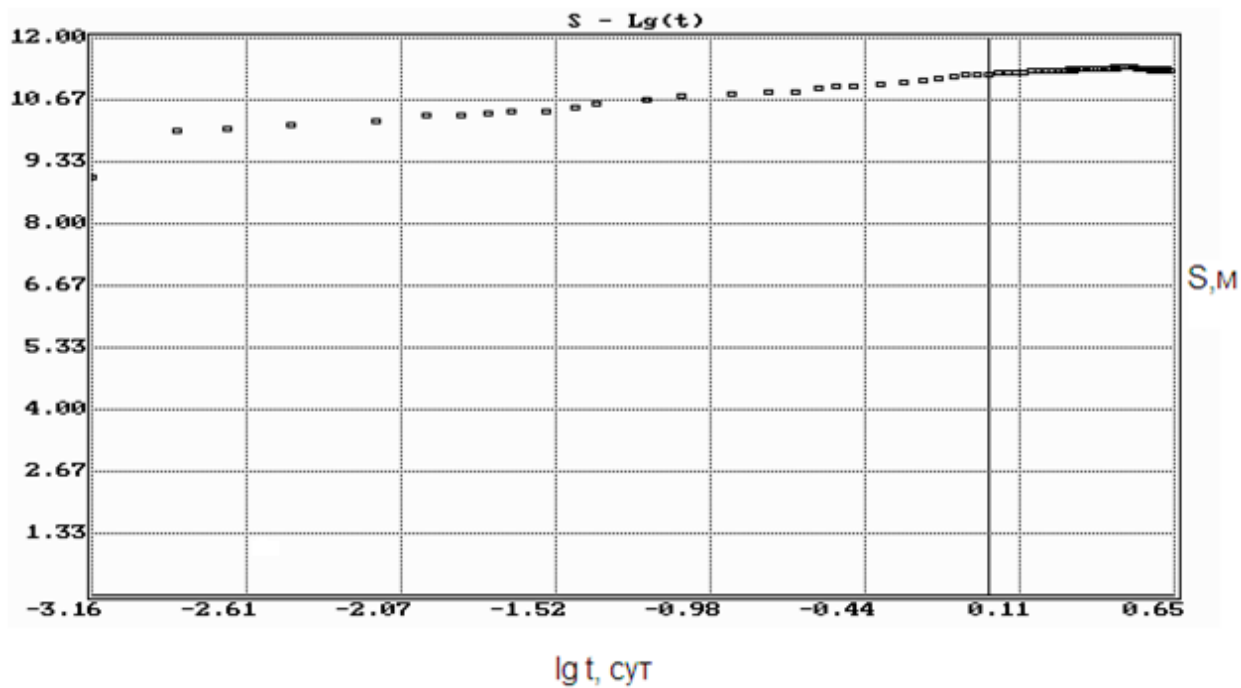


Рис. 9. График временного прослеживания понижения уровня воды в скважине 2.4

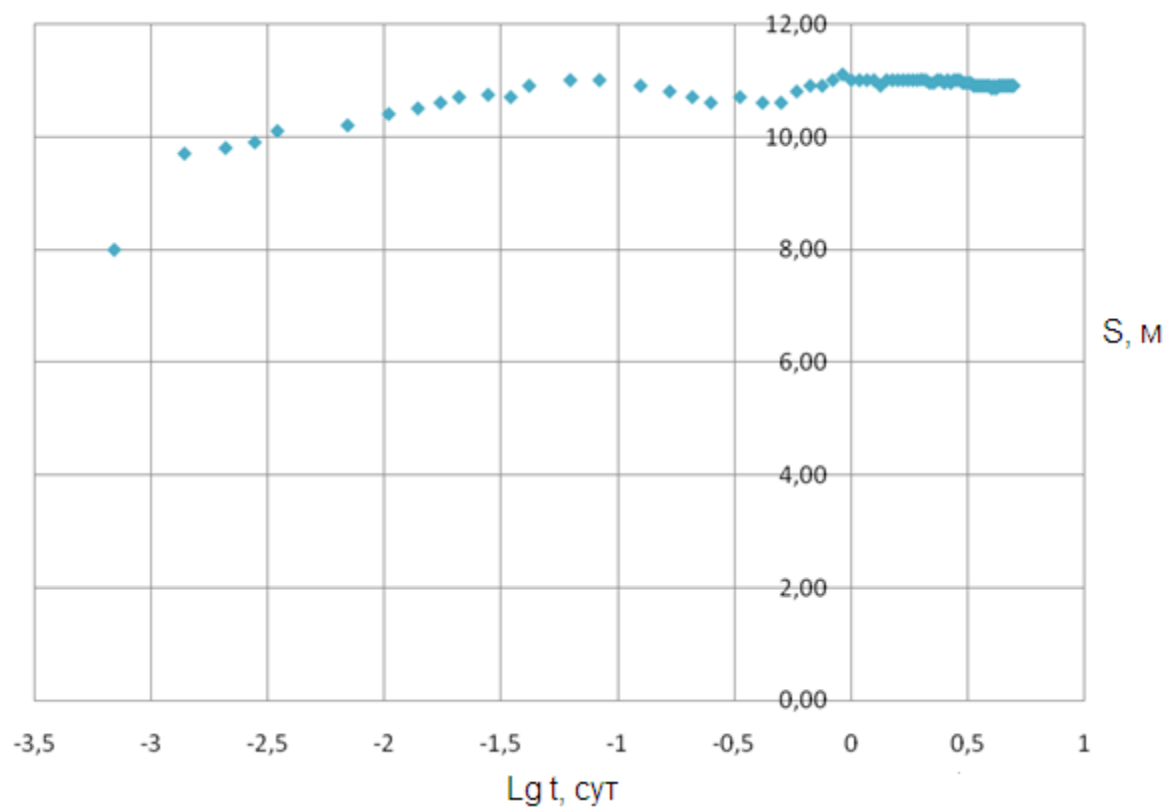


Рис. 10. График временного прослеживания понижения уровня воды в скважине 2.2

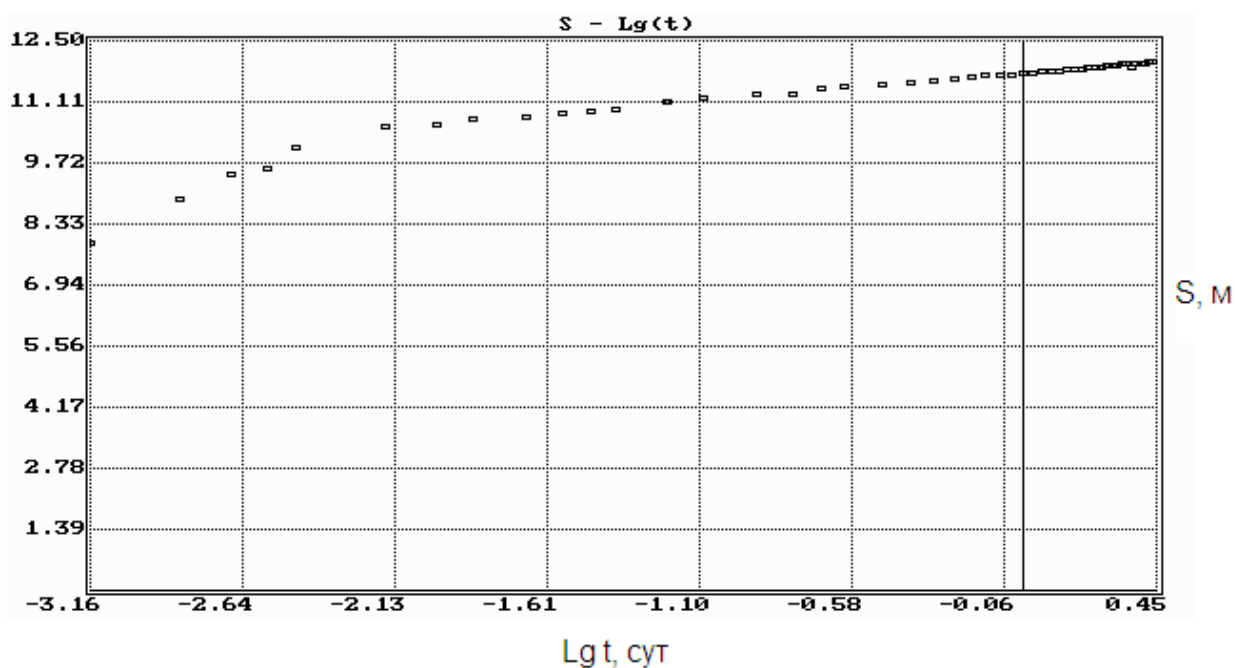


Рис. 11. График временного прослеживания понижения уровня воды в скв 2.5

Рассмотрим графики временного прослеживания понижения уровня воды в скважинах, оборудованных на сетуньско-донской водноледниковый водоносный горизонт (2.2, 2.4 и 2.6) в более детальном вертикальном масштабе с выделением различных характерных этапов (рис. 12, 13 и 14). При этом, так как дебит откачки  $Q$  из скважины 2.2 был непостоянным (от 388,8 до 457,9 м<sup>3</sup>/сут), в качестве индикаторного нами был построен график в координатах  $S/Q - Lg t$  (рис. 14).



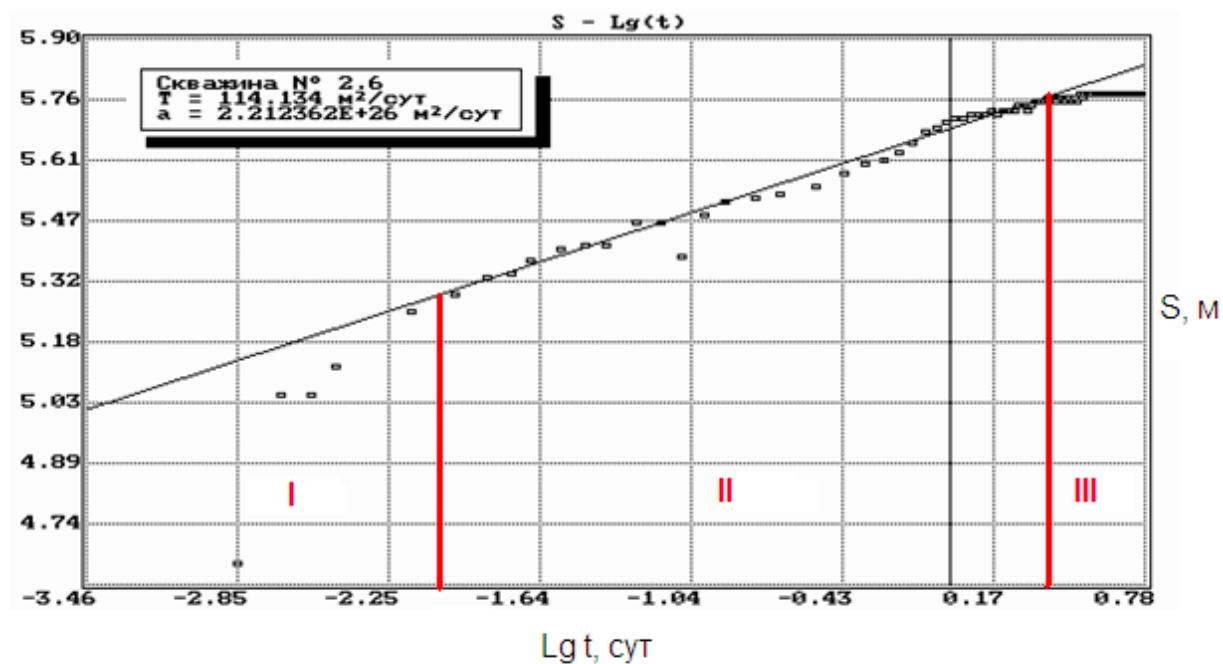


Рис. 12. График временного прослеживания понижения уровня в скважине 2.6 (обработка в программе AQUITEST)

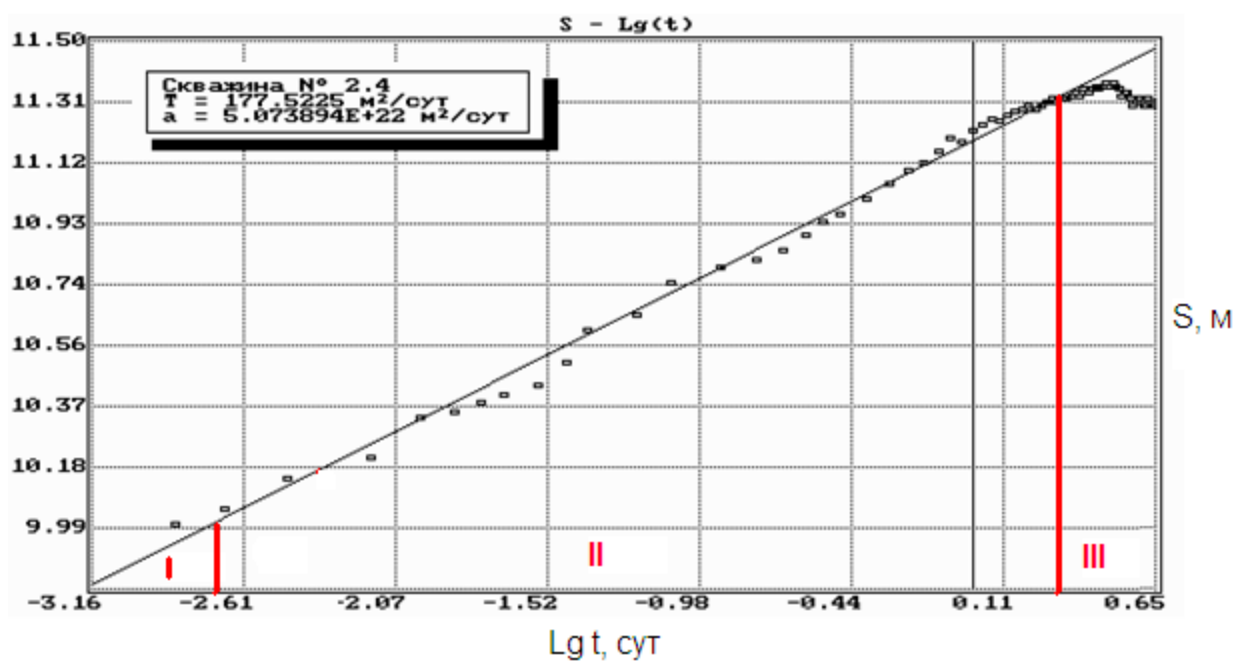


Рис. 13. График временного прослеживания понижения уровня 2.4 (обработка в программе AQUITEST)

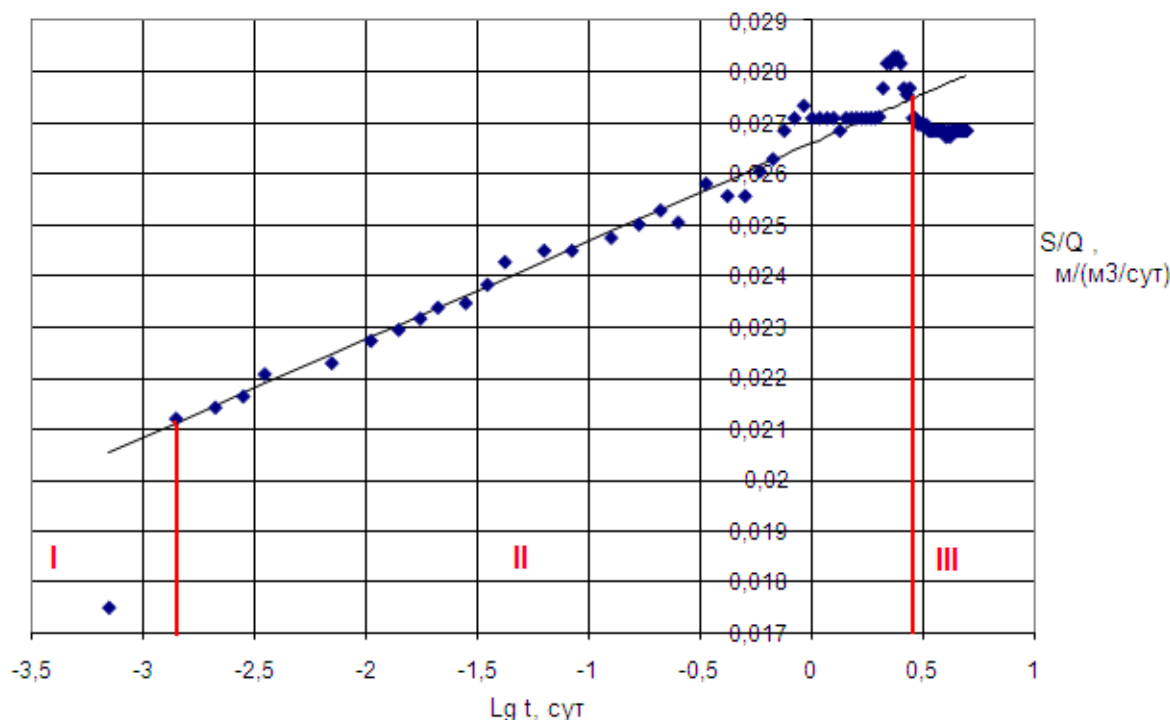


Рис. 14. График временного прослеживания понижения уровня 2.2 (обработка в программе EXCEL)

Первый этап, как уже отмечалось выше, на всех трёх графиках отвечает за скин-эффект. Второй участок также на всех трёх графиках является наклонным прямолинейным, что однозначно соответствует реакции опробуемого пласта как изолированного напорного безграничного горизонта. Третий участок характеризуется выполаживанием вплоть до полной стабилизации уровня до конца откачки. При этом при откачке из скв. 2.4, расположенная рядом скв. 2.5 на данную откачку никак не реагировала. То есть перетекание снизу, из кутузовско-ассельского водоносного комплекса исключается.

Для оценки возможного влияния на опытные откачки р. Волги, как границы обеспеченного питания, рассчитаем радиус влияния по формуле:  $R_{эл} = \sqrt{\Pi a^* t}$ , где  $a^* = 3,8 \cdot 10^{-4}$ , где  $t$  - время начала выполаживания, сут. ( $t_{2.4} = 2,14$ ;  $t_{2.6} = 3,09$ ;  $t_{2.2} = 2,51$ );  $a^*$  - коэффициент пьезопроводности. Так как в ходе поисковых работ производились только одиночные откачки, то у нас нет данных относительно  $a^*$ . Оценим это значение по характерным для песков значениям коэффициента упругоёмкости  $\eta^*$ .

По В. М. Шестакову (Шестаков В.М. ,1979 ):

$\eta^* = \frac{0,007}{Z}$ , где Z- средняя глубина пласта от поверхности, составляет 46 м.

$$\eta^* = \frac{0,007}{46} = 1,5 * 10^{-4}$$

Среднее значение, таким образом, составит:

$$\eta^* = 1,5 * 10^{-4} (\text{м}^{-1})$$

Тогда

$$\mu^* = m * \eta^* = 24 * 1,5 * 10^{-4} = 3,6 * 10^{-3}$$

и, следовательно,

$$\alpha^* = \frac{T}{\mu^*} = \frac{136}{3,6 * 10^{-3}} = 3,8 * 10^4$$

Таким образом, получаем радиус влияния откачки каждой из скважин:  $R_{\text{эл скв 2.4}}$  составляет 505 м;  $R_{\text{эл скв 2.6}}$  – 607 м;  $R_{\text{эл скв 2.2}}$  – 547 м. Как видно на рисунке 15, по крайней мере, для скважин 2.2 и 2.4 зона влияния откачки не достигла р. Волги. Следовательно, р. Волга, как потенциальная граница обеспеченного питания, не могла влиять на выполаживание индикаторных графиков. Таким образом, остается принять, что 3 этап графиков (этап выполаживания) мог быть связан исключительно с перетеканием из верхнего водоносного донско-московского водноледникового горизонта.

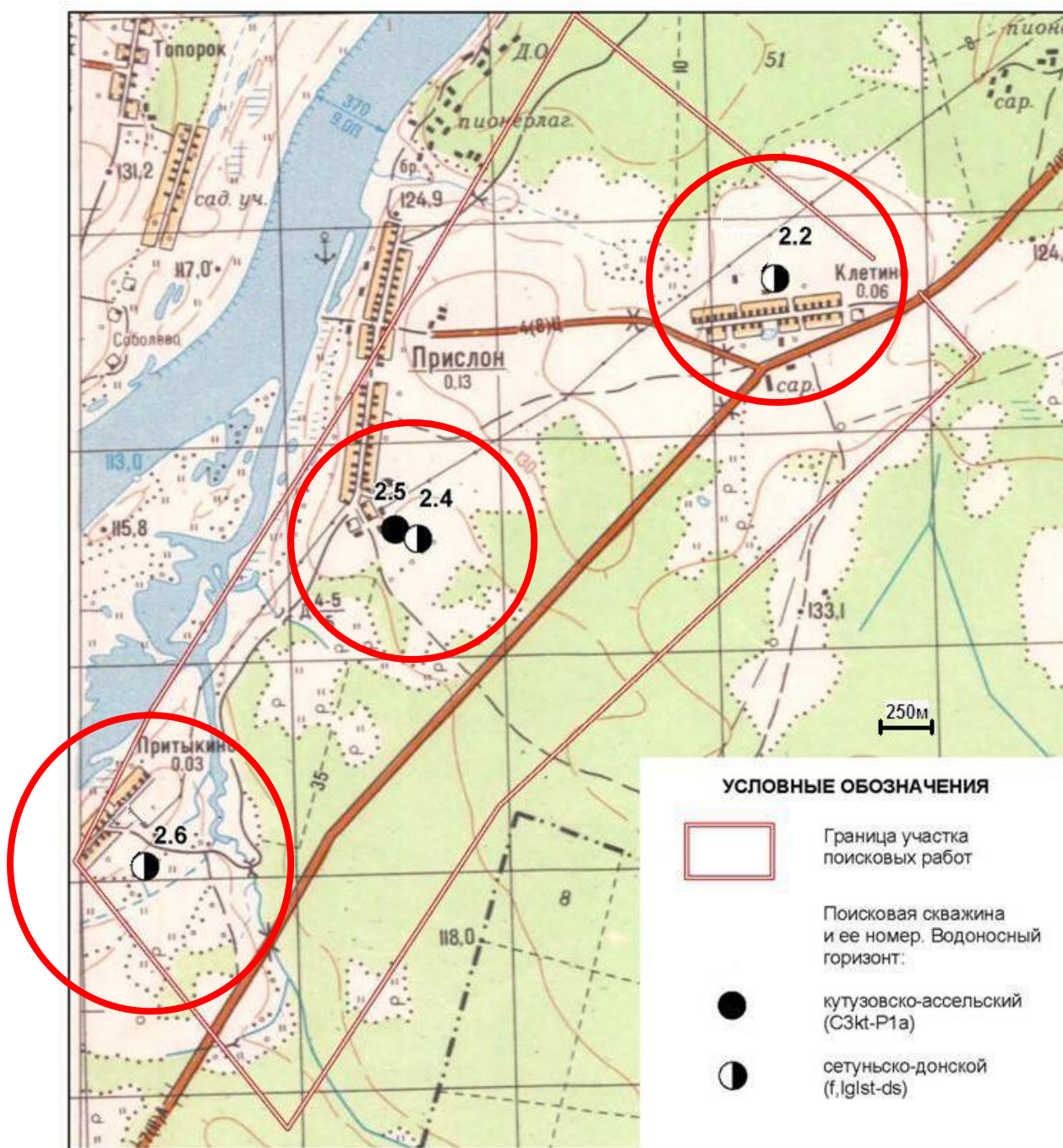


Рис.15. Карта расположения скважин с подсчитанными радиусами влияния опытных откачек.

Оценка фильтрационных параметров проводилась нами по прямолинейному этапу индикаторных графиков – II (рис. 12, 13 и 14) по решению Джейкоба-Тейса, как безграничный напорный изолированный водоносный горизонт по формуле (Мироненко В.А. ,2001; Шестаков В.М. ,1979 ):

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25a^*t}{r^2} = \frac{0,183Q}{T} \lg \left( \frac{2,25a^*t}{r^2} \right)$$

где S - понижение уровня воды в скважине, м;

Q - дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;

T – коэффициент водопроницаемости, м<sup>2</sup>/сут;

a\* – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут;

r – радиус скважины, м;

t – время от начала откачки, сут

Интерпретация результатов по скважинам 2.4 и 2.6 производилась с помощью программы AQUITEST, разработанная Синдаловским Л.Н. (1996 г.), а по скважине 2.2 - с помощью программы EXCEL. Полученная при этом величина a\* является фиктивной из-за скин-эффекта (чрезвычайно завышенной), и в дальнейших расчетах использована быть не может. Полученные в результате интерпретации графиков понижения значения коэффициентов водопроницаемости составляют:

T (2.6)= 114,1 м<sup>2</sup>/сут; T (2.4) = 177,5 м<sup>2</sup>/сут; T (2.2)= 95 м<sup>2</sup>/сут

Далее для тех же трёх откачек были построены графики временного прослеживания восстановления уровней (рис. 16, 17 и 18) в координатах S – Ln (t/(t-t<sub>0</sub>)). Обработка этих графиков производилась также по прямолинейному участку по формуле Джейкоба-Тейса для восстановления уровня после откачки из безграничного напорного изолированного пласта (Мироненко В.А. ,2001; Шестаков В.М. ,1979 ):

$$S = \frac{Q}{4\Pi} \ln\left(\frac{t}{t-t_0}\right) = \frac{0,183Q}{T} \lg\left(\frac{t}{t-t_0}\right)$$

где S – понижение уровня воды от начала откачки, м; Q – средний дебит откачки, м<sup>3</sup>/сут; t – время от начала откачки, сут; t<sub>0</sub> – продолжительность откачки, сут.

Обработка графиков восстановления уровней по всем трём скважинам производилась с помощью программы EXCEL.

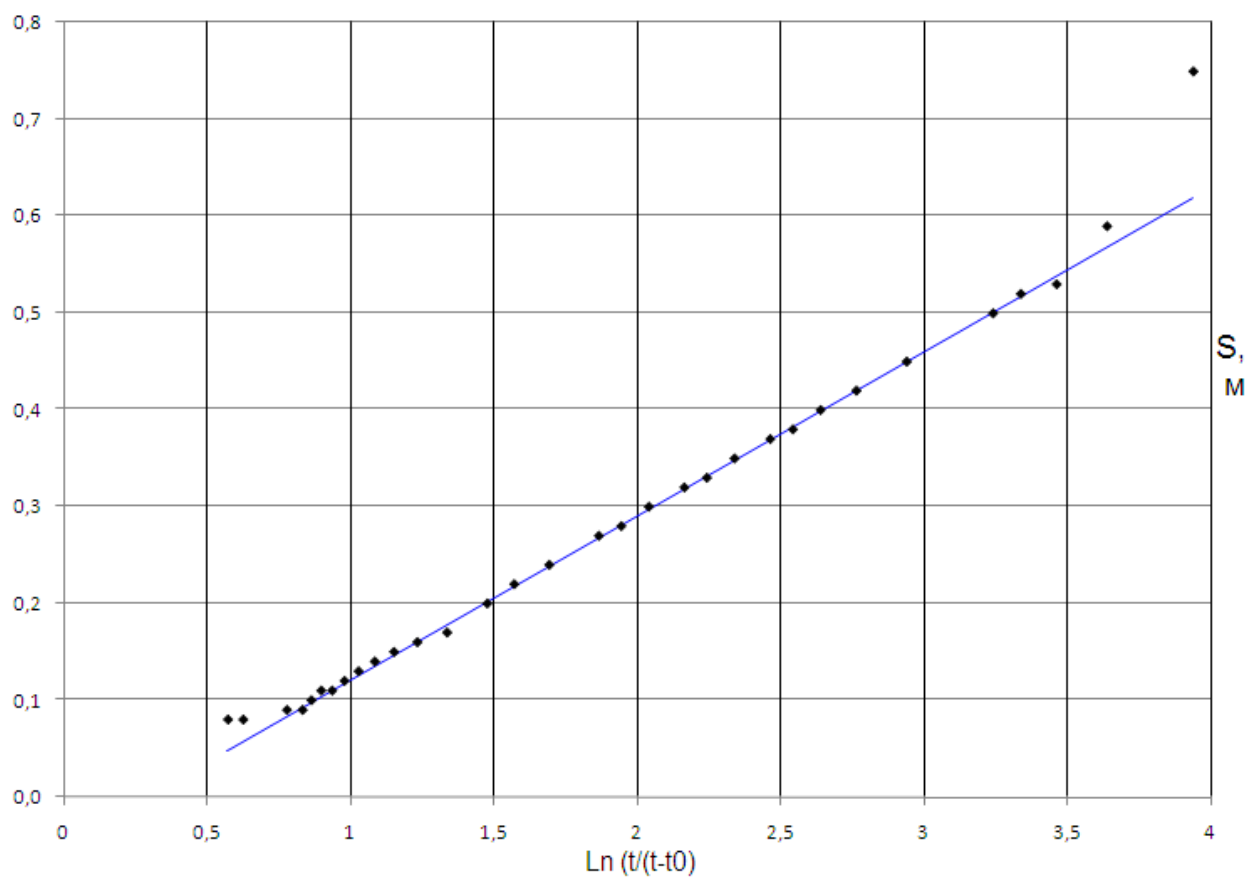


Рис. 16. График временного прослеживания восстановления уровня скв. 2.6



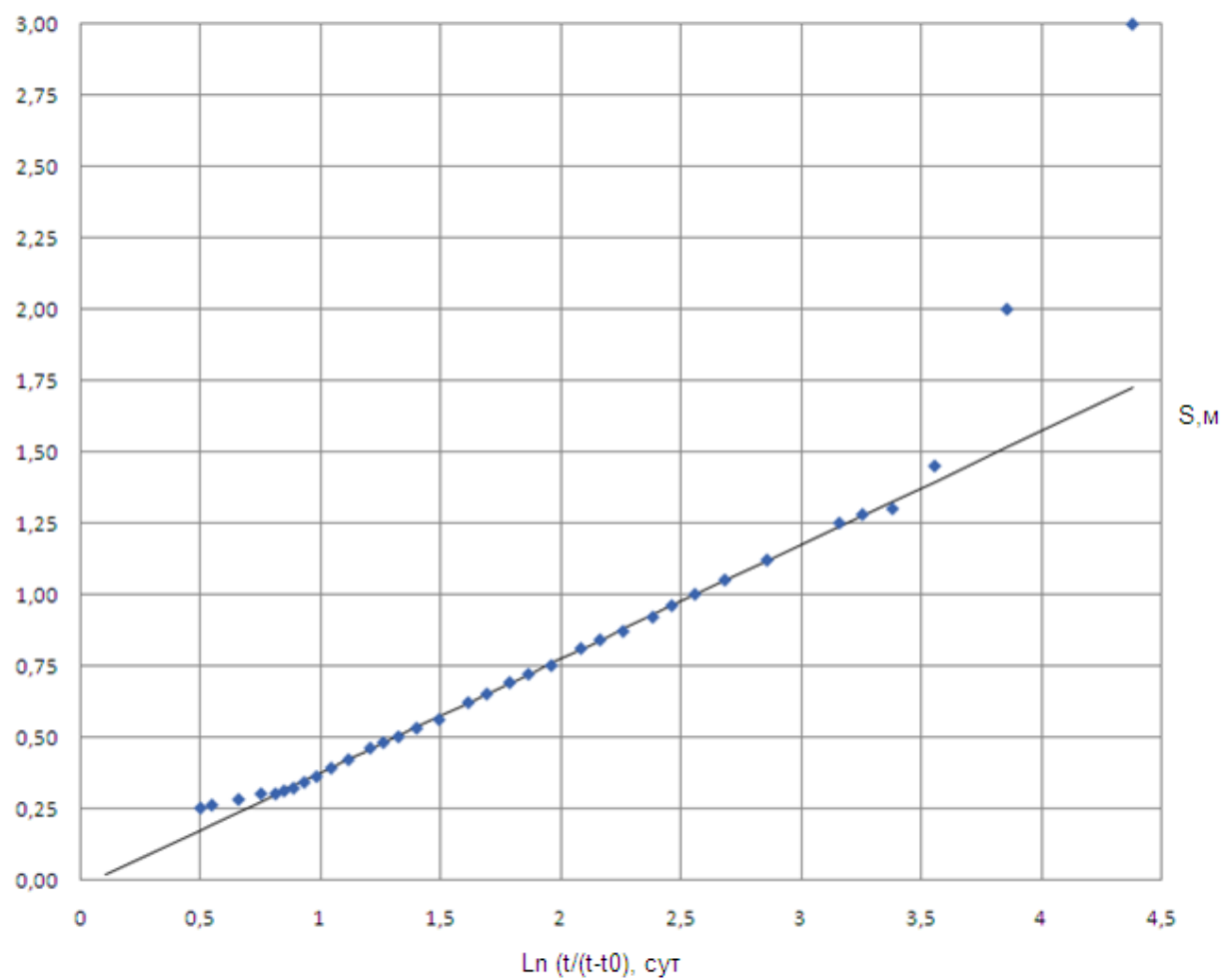


Рис. 17. График временного прослеживания восстановления уровня в скв. 2.4

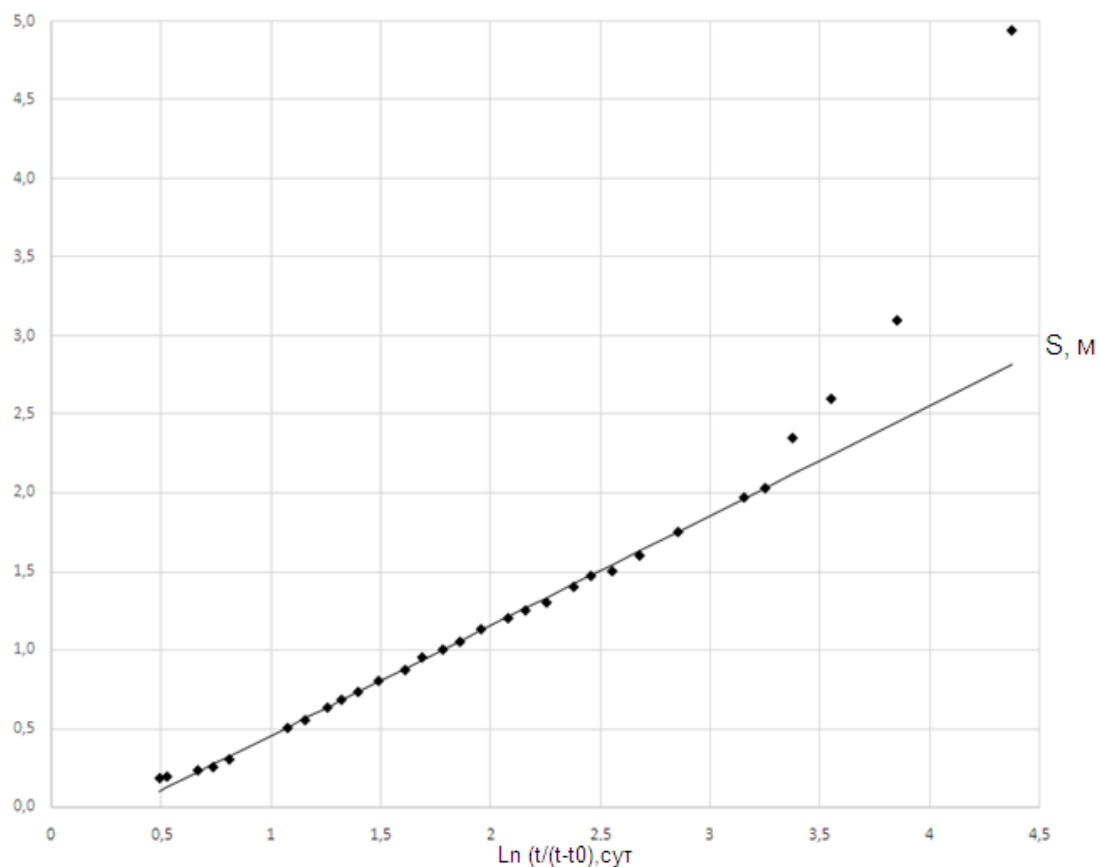


Рис. 18 . График временного прослеживания восстановления уровня скв. 2.2

Полученные в результате интерпретации графиков восстановления значения коэффициентов водопроводимости составляют:  $T(2.6)=130,2 \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $T(2.4) = T= 191,8 \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $T(2.2)= 110,6 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

Среднее (по всем 6-ти опытам: понижение и восстановление уровней в трёх скважинах) значение коэффициента водопроводимости по сетунско –донскому горизонту составляет  **$T_{\text{ср}}=136 \text{ м}^2/\text{сут}$** .

На индикаторном графике прослеживания понижения уровня воды при откачке из кутузовско-ассельского водоносного горизонта (по скважине 2.5) выделяется всего 2 этапа (рис. 19). Первый крутой участок графика, как говорилось ранее, свидетельствует о наличии скин-эффекта в данной скважине. Второй участок, как и в случае с откачками из сетунско–донского горизонта, является наклонным прямолинейным, что также однозначно характеризует реакцию опробуемого пласта как напорного изолированного безграничного горизонта. Третьего этапа на графике нет и, следовательно, в данном случае в течение откачки не было подтока или перетекания извне.

Интерпретация результатов прослеживания понижения и восстановления уровней при откачке из скважины 2.5 производилось по решению Джейкоба-Тейса аналогично тому, как это описано выше для скважин 2.2, 2.4 и 2.6.

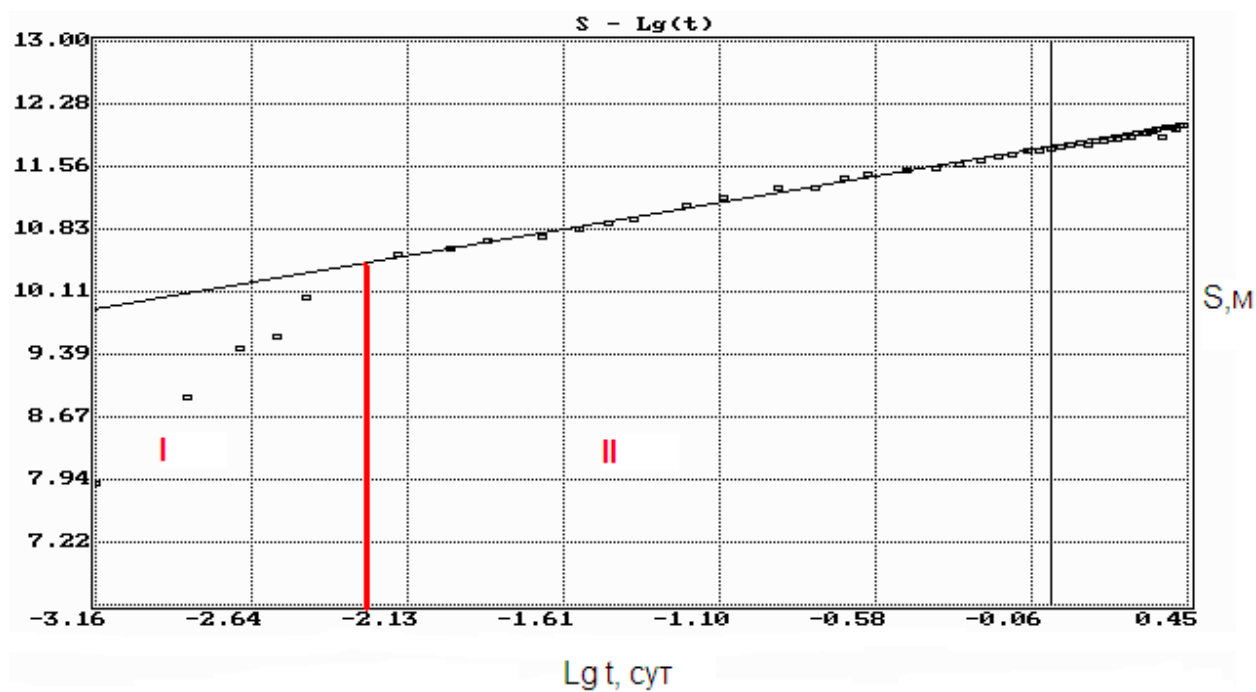


Рис. 19. График временного прослеживания понижения уровня в скв. 2.5 (обработка в программе AQUITEST)

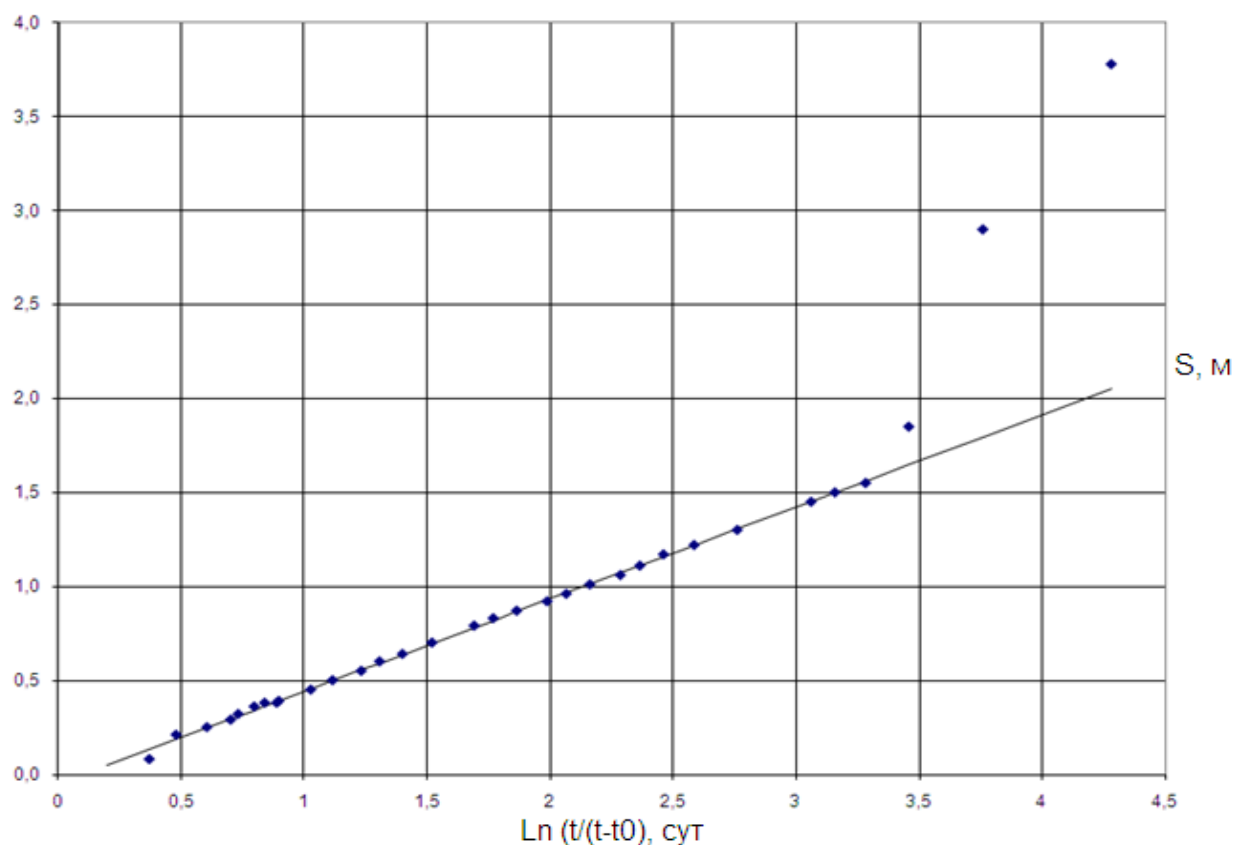


Рис. 20. График временного прослеживания восстановления уровня в скв 2.5 (обработка в программе Excel)

Полученные в результате интерпретации графиков понижения и восстановления уровня в скважине 2.5 (рис. 19 и 20) значения коэффициентов водопроницаемости составляют, соответственно:  $T = 114,6 \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $T = 138 \text{ м}^2/\text{сут}$ . Среднее (по всем 2-м опытам) значение коэффициента водопроницаемости по кутузовскому-ассельскому горизонту составляет  **$T_{\text{ср}} = 126 \text{ м}^2/\text{сут}$** .

## 6. Оценка качества подземных вод и геоэкологической обстановки

Как было указано в Главе 4, химическое опробование сетуньско-донского водоносного горизонта проводилось в ходе опытных откачек из скважин 2.2, 2.4, 2.6, а кутузовско-ассельского водоносного горизонта – при откачке из скважины 2.5 .

Результаты лабораторных химических анализов гидрохимических проб представлены в таблице 1.

Оценка качества указанных подземных вод проводилась в соответствии СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Таблица 1

Результаты химического опробования подземных вод сетуньско-донского и кутузовско-ассельского водоносных горизонтов

	единица измерения	ПДК	скв 2.2	скв 2.4	скв 2.6	скв 2.5
Индекс горизонта			Q	Q	Q	C3
дата отбора			14.06.2011	15.06.2011	31.01.2011	31.01.2011
pH		06.сен	7,8	7,2	8,2	7,6
Жесткость,	мг-экв./л	7,0 (10) <sup>2</sup>	5,54	6,23	6,15	<b>22,87</b>
цветность			бесцветная	бесцветная	бесцветная	бесцветная
запах			без запаха	без запаха	без запаха	без запаха
прозрачность			прозрачная	прозрачная	прозрачная	опалесцирующая
осадок			нет	нет	незначит.(бурый)	незначит
α-активность	Бк/л	0,1	-	0,04	0,03	<b>0,11</b>
β-активность	Бк/л	1	-	0,09	0,12	0,3
АПАВ	мг/л	0,5	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Нефт-ты	мг/л	0,1	<0,005	0,015	0,025	0,009
Окисляемость,	мгО2/л		0,96	1,04	1,25	1,03
общая минерализация	мг/л	1000	469	474	535	<b>1830</b>
Cl-	мг/л	350	14	75	2	36
SO4- -	мг/л	500	15	40	35	<b>988</b>
NO3-	мг/л	45	<1	<1	<1	<1
NO2-	мг/л	3	<0,01	<0,01	<0,01	0,2

	единица измерения	ПДК	скв 2.2	скв 2.4	скв 2.6	скв 2.5
F-	мг/л	1,5	0,24	0,21	0,68	2,05
HCO <sub>3</sub> -	мг/л	-	323	226	360	325
Na+	мг/л	200	3,9	5	8,3	74,08
K+	мг/л	-	1,7	1,7	4	10,6
Ca++	мг/л	-	75	93	73	278
Mg++	мг/л	-	22	190	30	109
Fe++	мг/л	0,3 (1,0) <sup>2</sup>	<0,1	<0,1	<0,1	0,14
NH <sub>4</sub> +	мг/л	2,0(по азоту)	0,7	<0,1	0,29	0,65
Li	мг/л	0,03	0,071	0,0052	0,0024	0,014
Be	мг/л	0,0002	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00003
B	мг/л	0,5	0,13	0,0095	0,14	0,44
Al	мг/л	0,5	<0,003	0,0099	<0,003	<0,01
Si	мг/л	10	59	5,8	6,6	8,6
V	мг/л	0,1	<0,002	<0,002	<0,002	<0,008
Cr	мг/л	0,05	<0,005	<0,005	<0,005	<0,006
Mn	мг/л	0,1 (0,5) <sup>2</sup>	1,2	0,12	0,045	0,016
Co	мг/л	0,1	0,0016	0,0002	0,00012	0,00037
Ni	мг/л	0,1	<0,0002	0,00047	0,00083	0,0078
Cu	мг/л	1	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,002
Zn	мг/л	5	0,16	0,27	0,028	<0,003
As	мг/л	0,05	<0,0004	0,0031	<0,0004	<0,0006
Br	мг/л	0,2	0,17	0,064	0,011	0,19
Se	мг/л	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,001
Rb	мг/л	0,1	0,003	0,00035	0,0012	0,0037
Sr	мг/л	7	0,94	0,1	0,84	3,3
Nb	мг/л	0,01	0,00026	<0,00002	0,00052	<0,00007
Mo	мг/л	0,25	0,0043	0,0011	0,0016	0,0033
Ag	мг/л	0,05	<0,000009	<0,000009	<0,000009	<0,00003
Cd	мг/л	0,001	<0,000009	<0,000009	<0,000009	<0,00002
Sb	мг/л	0,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,00009
Te	мг/л	0,01	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00004
Ba	мг/л	0,1	1,3	0,19	0,086	0,014
Sm	мг/л	0,024	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,000007
Eu	мг/л	0,3*	0,00019	0,000029	0,00001	<0,000004

	Единицы измерения	ПДК	скв 2.2	скв 2.4	скв 2.6	скв 2.5
Hg	мг/л	0,0005	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Pb	мг/л	0,0001	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,00004
Bi	мг/л	0,03	<0,000003	<0,0003	<0,0003	<0,0002
	мг/л	0,1	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00009

Общая минерализация сетуньско-донского водоносного горизонта изменяется от 469 до 535 мг/л. Тем самым, вода сетуньско-донского водоносного горизонта пресная (ПДК 1000 мг/л). Общая жесткость изменяется в пределах 5,54-6,15 мг-экв/л и не превышает допустимые нормы (ПДК 7 мг-экв/л). Содержания макрокомпонентов и микрокомпонентов для большинства показателей соответствуют нормативным требованиям. Превышают допустимые значения только концентрации Mn 0,12-1,2 мг/л (ПДК 0,1 мг/л) и Ba 0,19-1,3 мг/л (ПДК 0,1 мг/л).

Значение общей жесткости кутузовско-ассельского водоносного горизонта 22,87 7 мг-экв/л превышают допустимые значения (ПДК 7 мг-экв/л). Значение общей минерализации также выше допустимого 1830 мг/л (ПДК 1000 мг/л).  $\alpha$ -активность незначительно превышает норму ПДК. Из макрокомпонентов, не входят в допустимые значения  $SO_4^{2-}$  988 мг/л (ПДК 500 мг/л), а из микрокомпонентов превышают допустимые значения фториды  $F^-$ : 2,05 мг/л (ПДК до 1,5 мг/л).

Формулы Курлова (Общего солевого состава) имеют следующий вид.

Для сетуньско-донского водоносного горизонта:

$$\text{скв 2.2.} \quad M_{0,47} \frac{HCO_3 88 \text{ Cl } 7 \text{ SO}_4 5}{Ca 65 \text{ Mg } 31 \text{ Na } 3 \text{ K } 1} \text{ pH } 7,8$$

$$\text{скв 2.4} \quad M_{0,47} \frac{HCO_3 56 \text{ Cl } 32 \text{ SO}_4 12}{Ca 72 \text{ Mg } 24 \text{ Na } 3 \text{ K } 1} \text{ pH } 7,2$$

$$\text{скв 2.6} \quad M_{0,54} \frac{HCO_3 88 \text{ SO}_4 11 \text{ Cl } 11}{Ca 55 \text{ Mg } 38 \text{ Na } 5 \text{ K } 2} \text{ pH } 8,2$$

Для кутузовско-ассельского водоносного горизонта:

$$\text{скв 2.5} \quad M_{1,83} \frac{SO_4 77 \text{ HCO}_3 19 \text{ Cl } 4}{Ca 53 \text{ Mg } 34 \text{ Na } 12 \text{ K } 1} \text{ pH } 7,6$$

Воды сетуньско-донского водоносного горизонта инфильтрационного происхождения. Воды кутузовско-ассельского горизонта также инфильтрационного генезиса, воды растворимые гипсом или ангидритами. Так как в верхней части разреза

нет перечисленных пород, то скорее всего они транзитные с пермских отложений, которые распространены в восточной части территории работ

По соседнему участку гидрогеохимическое опробование донско-московского горизонта показало удовлетворительное качество вод с учетом СанПиН 2.1.4.1074-01

По результатам геоэкологического обследования участка работ нарушений естественного ландшафта не выявлено. Не наблюдается на рассматриваемом участке объектов, которые могли бы создать опасность микробного загрязнения подземных вод (поля ассенизации, кладбища, скотомогильники, навозохранилища, животноводческие и птицеводческие предприятия); предприятия, применяющие ядохимикаты, промышленная рубка леса, объекты, обуславливающие опасность химического загрязнения подземных вод (накопители промстоков, шламоохранилищ, склады горюче-смазочных материалов, склады ядохимикатов, минеральных удобрений и др.) на участке работ также отсутствуют.



## 7. Подсчет запасов подземных вод

В соответствии с изложенным выше было принято, что наиболее перспективным горизонтом для обеспечения питьевого водоснабжения г. Кимры является водоносный сетунско-донской водноледниковый горизонт: он обладает достаточно высокой проницаемостью, и при этом превышение ПДК в его подземных водах зафиксировано только для марганца и бария (не превышает 2-х раз).

Прогнозная схема водозабора принята нами линейной, вытянутый вдоль р. Волга в пределах опробованной площади (рис. 21). В такой конфигурации самой нагруженной скважиной будет являться скв. 2.4. По ней и была произведена оценка соответствия расчетного и допустимого понижений.

Было принято, что дебит каждой водозаборной скважины будет составлять 500 м<sup>3</sup>/сут, что приблизительно соответствует реальным расходам при проведенных опытных откачках (см. Главу 5). Количество скважин на прогнозируемом водозаборе при заявленной водопотребности 5 500 м<sup>3</sup>/сут составит, таким образом,  $N_{\text{скв}} = 5500 / 500 = 11$  шт. (рис. 21).

Величина допустимого понижения в результате эксплуатации водоносного сетунско-донского водноледникового горизонта при условии осушения его до середины мощности пласта в точке скважины 2.4 составляет  $S_{\text{доп}} = h_{\text{сер м}} - h_{\text{ст}} = 46 \text{ м} - 12 \text{ м} = 34 \text{ м}$  (где  $h_{\text{сер м}}$  – глубина от поверхности земли до середины мощности сетунско-донской горизонта;  $h_{\text{ст}}$  – глубина до статического уровня напорных вод в сетунско-донском горизонте – см. рис. 7).

Оценка запасов подземных вод проводилась нами, исходя из наихудшей ситуации, по схеме изолированного напорного безграничного горизонта, то есть без учета перетекания из верхнего водоносного донско-московского водноледникового горизонта и без возможного подтока воды из р.Волга.

Расчетное понижение в скважине 2.4. от действия самой только этой скважины оценивалось методом сочетания гидравлического и гидродинамического способов оценки запасов: путем экстраполяции реально полученного графика откачки до времени 25 лет (9125 суток –  $Lg(t) = 3,96$ ). Данная экстраполяция была произведена с использованием программы AQUITEST (рис. 22). Как видно на этом рисунке расчетное понижение ( $S_{\text{рассч}}$ ) в скважине 2.4. на конечный срок эксплуатации водозабора составит 12,8 м.

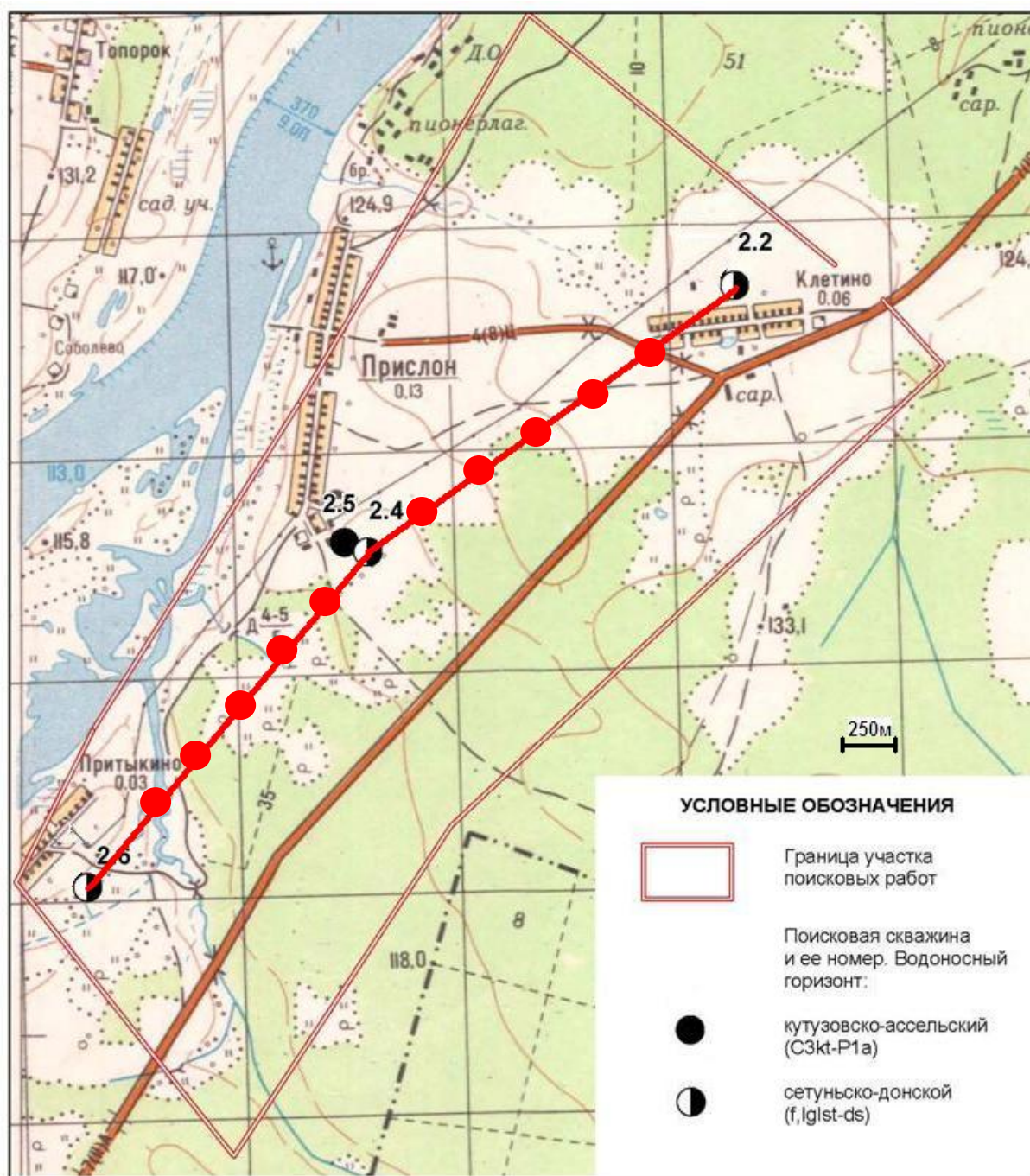


Рис 21. Карта расположения прогнозных водозаборных скважин, расстояние между которыми не превышает 300м.

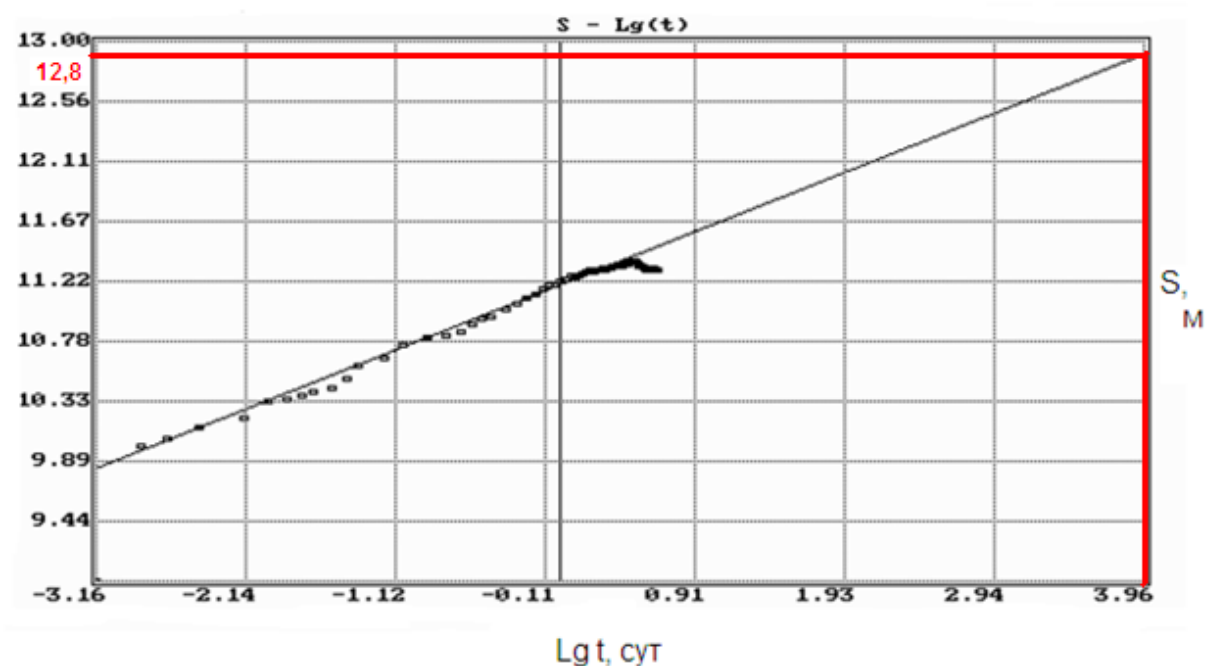


Рис. 22 График временного прослеживания уровня для подсчета запасов подземных вод на расчетный срок эксплуатации 9125 суток.

Дополнительную нагрузку на скважину 2.4. будут оказывать все остальные 10 скважин линейного водозабора. Дополнительные «срезки» понижения в точке скважины 2.4. от действия этих скважин были оценены нами по принципу сложения течений по формуле (Мироненко В.А. ,2001; Шестаков В.М. ,1979 ):

$$\Delta S_{\text{Сум}} = \Delta S_i$$

где  $\Delta S_{\text{Сум}}$  – суммарное дополнительное понижение в точке скважины 2.4. в результате суммарного влияния 10 скважин водозабора, м;  $\Delta S_i$  – дополнительное понижение в точке скважины 2.4. в результате влияния каждой  $i$ -ой скважины водозабора.

В соответствии с решением Джейкоба-Тейса оценка величин  $\Delta S_i$  производилась по формуле (Мироненко В.А. ,2001; Шестаков В.М. ,1979 ):

$$\Delta S = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2},$$

где  $Q$  – расход каждой скважины = 500 м<sup>3</sup> / сут;  $t$  – прогнозный срок эксплуатации водозабора = 25 лет = 9125сут;  $r$  – расстояние от данной  $i$ -ой расчетной скважины до скважины 2.4;  $T$  – среднее значение коэффициента водопроводимости сетуньско-донского горизонта = 136 м<sup>2</sup>/сут;  $a^*$  - коэффициент пьезопроводности сетуньско-донского горизонта, м<sup>2</sup>/сут.  $a^* = \frac{T}{\mu^*} = \frac{136}{3,6 \cdot 10^{-3}} = 3,8 \cdot 10^4$  ( значение рассчитывали в Главе 5.)

При этом результирующее значение расчетного понижения в наиболее нагруженной скважине 2.4. составит

$$S_{расч} = S_{расч24} + \Delta S_{сумм}$$

Многовариантные расчеты показали, что расчетное понижение, не превысит допустимого  $S_{расч} \leq S_{дон}$  при расстоянии между скважинами 300 метров.

$$\Delta S_{сум} = 2\Delta S_1 + 2\Delta S_2 + 2\Delta S_3 + 2\Delta S_4 + 2\Delta S_5$$

$$2\Delta S_1 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 38000 * 9125}{300^2} = 5,3 м$$

$$2\Delta S_2 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 38000 * 9125}{600^2} = 4,49 м$$

$$2\Delta S_3 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 38000 * 9125}{900^2} = 4,02 м$$

$$2\Delta S_4 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 38000 * 9125}{1200^2} = 3,68 м$$

$$2\Delta S_5 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 38000 * 9125}{1500^2} = 3,42 м$$

$$\Delta S_{сум} = 20,9 м$$

$$S_{расч} = 12,8 + 20,93 = 33,73 м$$

В такой конфигурации эксплуатационные запасы в количестве 5500 м<sup>3</sup>/сут являются обеспеченными.

Рассмотрим наихудшую ситуацию, где  $\eta^*$  берем, как минимальное из характерных значений, приводимых Мироненко В.А.( Мироненко В.А. ,2001) для песков:

$$\eta^* = 0,5 * 10^{-4} (м^{-1})$$

$$\mu^* = m * \eta^* = 24 * 0,5 * 10^{-4} = 0,0012$$

$$a^* = \frac{T}{\mu^*} = \frac{136}{0,0012} = 1,13 * 10^5$$

$$2\Delta S_1 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 113000 * 9125}{500^2} = 5,35 м$$

$$2\Delta S_2 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 113000 * 9125}{1000^2} = 4,53 м$$

$$2\Delta S_3 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 113000 * 9125}{1500^2} = 4,06 м$$

$$2\Delta S_4 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 113000 * 9125}{2000^2} = 3,72 \text{ м}$$

$$2\Delta S_5 = 2 * \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25 a^* t}{r^2} = 2 * \frac{500}{4 * 3,14 * 136} \ln \frac{2,25 * 113000 * 9125}{2500^2} = 3,46 \text{ м}$$

$$\Delta S_{\text{сум}} = 21,13 \text{ м}$$

$$S_{\text{рассч}} = 12,8 + 21,13 = 33,93 \text{ м}$$

Выполненные расчеты показывают, что в данном случае расчетное понижение при расстоянии между скважинами 500 метров не превышает допустимого, поэтому даже в такой ситуации эксплуатационные запасы в количестве 5500 м<sup>3</sup>/сут являются тоже обеспеченными.

## 8. Расчет поясов зоны санитарной охраны

**III пояс зоны санитарной охраны (ЗСО)** предназначается для защиты подземных вод от стабильного химического загрязнения. Граница третьего пояса согласно СанПиН 2.1.4.1110-02 определялась по методу Лапшина-Орадовской (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987) для схемы изолированного водоносного горизонта при линейном водозаборе с расчетным временем на весь период эксплуатации (25 лет = 9125 сут),

На текущий момент оценки запасов информация о направлении и интенсивности потока подземных вод в горизонте в пределах рассматриваемого участка отсутствует. Поэтому при расчете поясов ЗСО было принято, что удельный дебит указанного естественного потока  $q = 0$ .

Расчет ширины  $R_{\text{реал}}$  и длины  $d$  III пояса ЗСО производился по решению Лапшина-Орадовской для линейного ряда скважин (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987):

$$\bar{T} = \frac{Qt}{mnl^2}$$

где проектный дебит линейного ряда скважин  $Q = 5500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; длина водозаборного ряда  $L = 3000 \text{ м}$ ; половина длины водозаборного ряда  $l = 1500 \text{ м}$ ; мощность водоносного пласта  $m = 24 \text{ м}$ ; пористость водоносных пород  $n = 0,1$ ; время  $t = 9125$ , сут

$$\bar{T} = \frac{5500 \cdot 9125}{24 \cdot 0,1 \cdot 1500^2} = 9,29 \text{ сут}$$

Оценка ширины  $R_{\text{реал}}$  производилась в соответствии с графиком соответствующей функциональной зависимости от  $T$  (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987) – рис. 23

$$\bar{R} = \frac{R_{\text{реал}}}{l};$$

$$R_{\text{реал}} = 1,4 \cdot 1500 = 2100 \text{ м} = 4200 \text{ м}$$



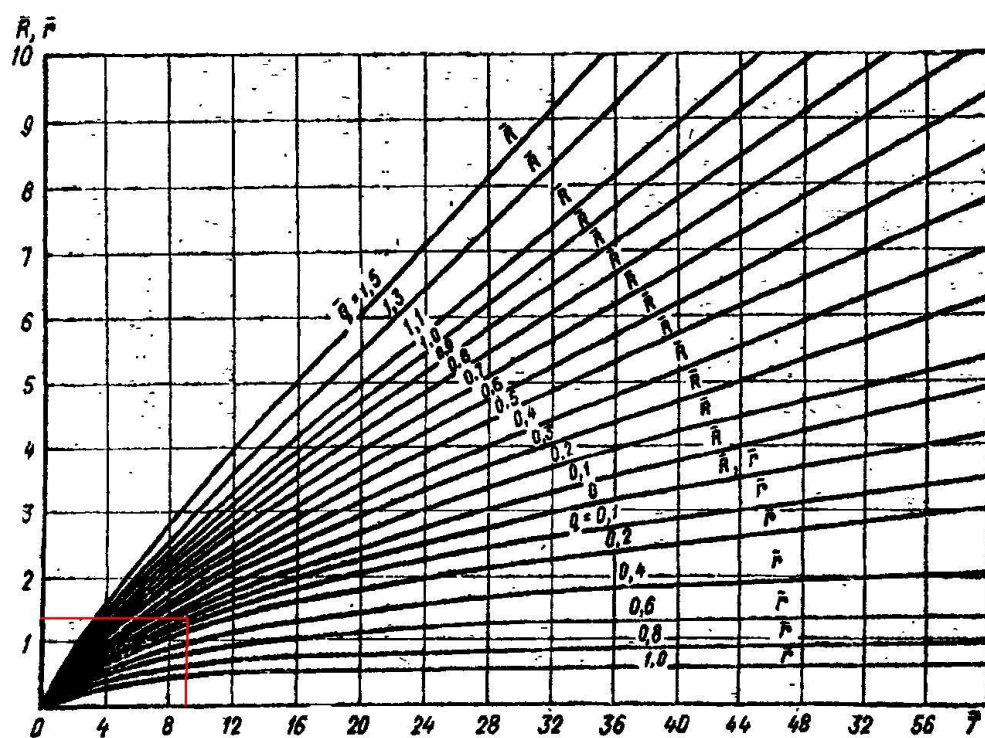


Рис. 23. Определение  $\bar{R}$  при действии линейного водозабора в изолированном неограниченном водоносном пласте (при  $q = 0$ ) (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987)

Оценка ширины  $d$  также производилась в соответствии с графиком соответствующей функциональной зависимости от  $T$  (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987) – рис. 24

$$\bar{d} = d / l = 2,15$$

$$d = 2,15 * 1500 = 3225 \text{ м} = 6450 \text{ м}$$

Конфигурация III пояса ЗСО представлена на рисунке 25.

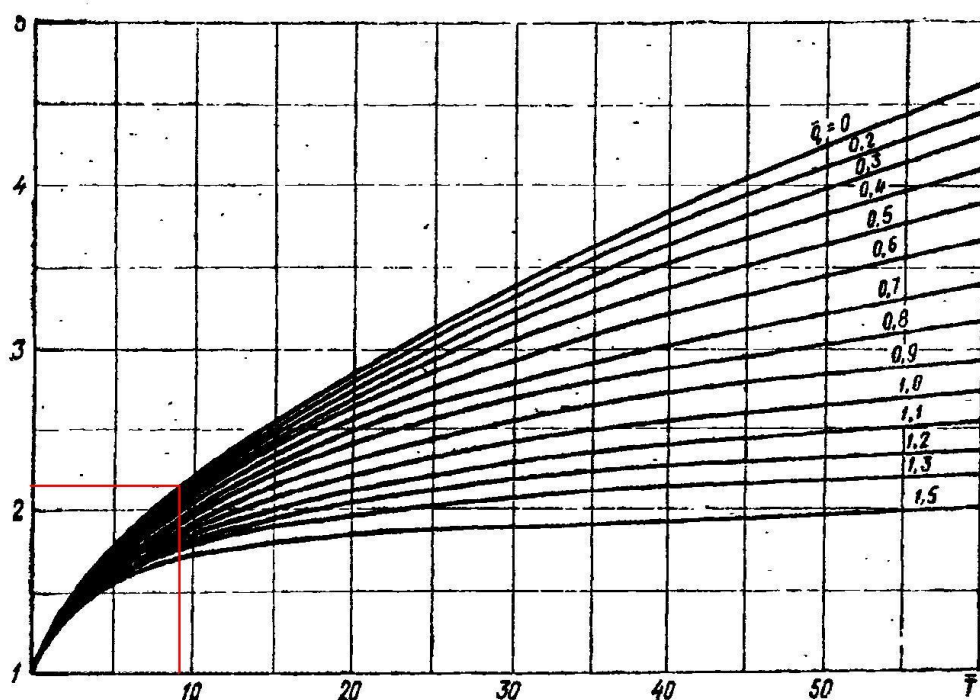


Рис. 24. Определение ширины ЗСО линейного водозабора в изолированном неограниченном водоносном горизонте (при  $q = 0$ ) (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987)

II пояс ЗСО предназначен для защиты водоносного комплекса от микробных загрязнений. Граница его согласно СанПиН 2.1.4.1110-02 устанавливалась также по методу Лапшина-Орадовской (Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н, 1987) для схемы изолированного водоносного горизонта при линейном водозаборе с учетом времени ( $T_m = 400$  сут) выживания микробов в случае их попадания в подземные воды, исходя из условий, что микробное загрязнение, поступающее в водоносный пласт за пределами второго пояса, не достигает водозабора.

II пояс ЗСО устраняет вероятность возникновения очагов бактериального загрязнения. Здесь запрещается расположение объектов, обуславливающих опасность микробного загрязнения подземных вод (кладбища, скотомогильники, навозохранилища, животноводческие и птицеводческие предприятия); применение ядохимикатов; промышленная рубка леса; расположение объектов, обуславливающих опасность химического загрязнения подземных вод (накопителей промстоков, шламоохранилищ, складов горюче-смазочных материалов, складов ядохимикатов, минеральных удобрений и др.).

II пояс ЗСО. При  $q=0$ , считаем по формуле:



$$\bar{T} = \frac{Qt}{mnl^2}$$

где  $Q = 5500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $L = 3000\text{м}$ ;  $l = 1500\text{м}$ ;  $m = 24 \text{ м}$ ;  $n = 0,1$ ;  $t = 400 \text{ сут}$ .

$$\bar{T} = \frac{5500 \cdot 400}{24 \cdot 0,1 \cdot 1500^2} = 0,4 \text{ сут}$$

$$R_{\text{расч}} = 0,2 \cdot 1500 = 300\text{м} = 600\text{м}$$

$$d = 1,2 \cdot 1500 = 1800\text{м} = 3600\text{м}$$

Конфигурация II пояса ЗСО представлена на рисунке 25.

**I пояс ЗСО** строгого режима в соответствии с СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» устанавливается на расстоянии 50 м. В пределах I пояса ЗСО исключается любая хозяйственная деятельность, не связанная с водообеспечением, и запрещается проживание людей.

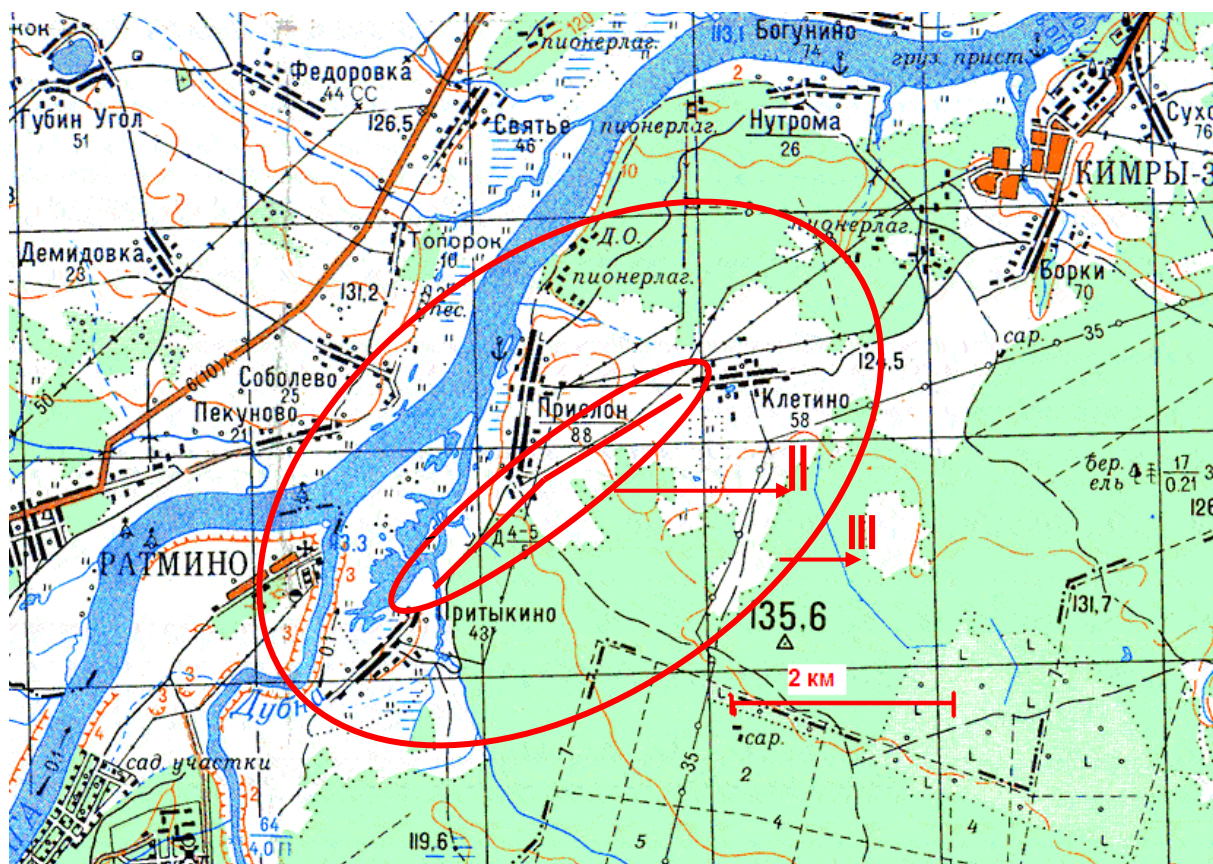


Рис. 25. II и III пояса зоны санитарной охраны

Как уже упоминалось в Главе 6 про геоэкологическую обстановку, рассматриваемый участок (в том числе и площадь III пояса ЗСО) находится в

благоприятной санитарной обстановке. Специальных мероприятий по очистке территории не требуется. Участок свободен от пахотных земель, застроек, свиноферм, пастбищ скота.

## **9. Рекомендации по проведению дальнейших полевых и лабораторных гидрогеологических работ для оценки запасов по категориям С<sub>2</sub> и В.**

Для оценки коэффициента пьезопроводности ( $a^*$ ) продуктивного сетуньско-донского водноледникового горизонта и параметров перетекания (В) слабоводоносного донского ледникового комплекса и водоупорного келловей-кимериджского терригенного горизонта необходимо организовать, как минимум, два куста, состоящих из не менее, чем 6 гидрогеологических скважин каждый: по 2 скважины на каждый из трех водоносных горизонтов: 1) донско-московский водноледниковый горизонт, 2) сетуньско-донской водноледниковый горизонт, 3) кутузовско-ассельский карбонатный горизонт. На каждом из этих 2-х кустов провести по три откачки – по одной из каждого водоносного горизонта. Учитывая, что при уже проведенных опытных откачках продолжительностью 4-5 суток на индикаторных графиках никак не проявилась сработка запасов смежных горизонтов, продолжительность проектных откачек из сетуньско-донского горизонта должна составлять не менее 15 суток.

Для последующего обоснования поясов ЗСО следует провести лабораторные испытания керна скважин с определением величины общей и активной пористости как водоносных горизонтов, так и разделяющих водоупоров.

Необходимо выяснить гидрогеологический разрез вблизи р. Волга, и в первую очередь определить мощность вреза аллювиальных отложений. Для этого нужно пробурить, как минимум, одну скважину глубиной до кутузовско-ассельского горизонта на расстоянии от 50 до 100 м от р. Волга с полным отбором керна и комплексом каротажных исследований. В зависимости от возможной глубины вреза аллювиальных отложений следует запланировать, как минимум, одну кустовую откачку для оценки гидравлической связи между продуктивным водоносным сетуньско-донским водноледниковым горизонтом и поверхностными водами р. Волги, а также для оценки гидравлической взаимосвязи всех трёх указанных выше смежных горизонтов.

Надо провести разовые гидрогеохимические опробования при всех проектных опытных откачках с лабораторным анализом проб по спектру показателей, нормируемых в СанПиН 2.1.4.1074-01 и организовать режимные гидродинамические и гидрогеохимические наблюдения в течение замкнутого годового цикла по 1-2 скважинам, оборудованным на каждый из трёх водоносных горизонтов.

Для отнесения запасов питьевых подземных вод к категории балансовых следует провести маркетинговые исследования по выбору установок по очистке подземных вод в отношении компонентов, превышающих ПДК, или (что предпочтительнее) опытные испытания этих существующих установок.

Для оценки, по крайней мере, части запасов по категории В необходимо пробурить отдельные разведочно-эксплуатационные скважины, которые позволяли бы организовать откачку с дебитом, приближающийся к эксплуатационному, то есть 500 м<sup>3</sup>/сут (не менее 250 м<sup>3</sup>/сут ).

## Заключение.

Для оценки питьевого водоснабжения г. Кимры Тверской области с водопотребностью  $5500 \text{ м}^3/\text{сут}$  было рассмотрено три водоносных горизонта: кутузовско-ассельский карбонатный, сетуньско-донской водноледниковый и донско-московский водноледниковый.

В качестве продуктивного горизонта был выбран водоносный сетуньско-донской водноледниковый.

По результатам интерпретации опытных одиночных откачек коэффициент водопроводимости  $T$  изменяется от 95 до  $191 \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $T_{\text{ср}} = 136 \text{ м}^2/\text{сут}$ .

Качество подземных вод оценивалось в соответствии СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Общая минерализация воды в продуктивном сетуньско-донском водоносном горизонте изменяется от 469 до  $535 \text{ мг/л}$ . Тем самым, вода сетуньско-донского водоносного горизонта пресная (ПДК  $1000 \text{ мг/л}$ ). Общая жесткость изменяется в пределах  $5,54\text{--}6,15 \text{ мг-экв/л}$  и не превышает допустимые нормы (ПДК  $7 \text{ мг-экв/л}$ ). Содержания макрокомпонентов и микрокомпонентов превышают допустимые значения только по  $\text{Mn}$   $0,12\text{--}1,2 \text{ мг/л}$  (ПДК  $0,1 \text{ мг/л}$ ) и  $\text{Ba}$   $0,19\text{--}1,3 \text{ мг/л}$  (ПДК  $0,1 \text{ мг/л}$ ).

Значение общей жесткости кутузовско-ассельского водоносного горизонта  $22,9 \text{ мг-экв/л}$  превышают допустимые значения (ПДК  $7 \text{ мг-экв/л}$ ). Значение общей минерализации также выше допустимого  $1830 \text{ мг/л}$  (ПДК  $1000 \text{ мг/л}$ ).  $\alpha$ -активность незначительно превышает норму ПДК. Из макрокомпонентов, не входят в допустимые значения  $\text{SO}_4^{2-}$   $988 \text{ мг/л}$  (ПДК  $500 \text{ мг/л}$ ), и а из микрокомпонентов превышают допустимые значения фториды  $\text{F}^-$ :  $2,05 \text{ мг/л}$  (ПДК до  $1,5 \text{ мг/л}$ ).

Величина допустимого понижения при эксплуатации водоносного сетуньско-донского водноледникового горизонта при условии осушения его до середины мощности пласта в точке скважины 2.4 составляет  $S_{\text{доп}} = 34 \text{ м}$

Оценка запасов подземных вод проводилась для линейного ряда скважин, вытянутого вдоль р. Волги, исходя из наихудшей ситуации, по схеме изолированного напорного безграничного горизонта. Производительность каждой скважины принята равной  $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Для наиболее нагруженной скважины, расположенной в середине линейного ряда (опробованная скважина 2.4), оценка расчетного понижения производилась методом сочетания гидравлического (с учётом реального скин-эффекта

скважины) и гидродинамического способов оценки запасов. Дополнительная нагрузка на скважину 2.4. со стороны всех остальных 10 скважин линейного водозабора были оценены по принципу сложения течений по решению Джейкоба-Тейса.

Величина расчетного понижения в точке скважины 2.4. не превышает значения допустимого понижения при расстоянии 300 м между водозаборными скважинами (общая длина линейного ряда – 3000 м).

Учитывая, что в результате произведенных опытных одиночных откачек не были определены ёмкостные параметры продуктивного горизонта и параметры перетекания смежных с ним водоупоров, категорию оценки запасов подземных вод можно принять не выше С2.

Пояса Зоны санитарной охраны рассчитывалась для схемы изолированного водоносного горизонта при линейном водозаборе, согласно СанПиН 2.1.4.1110-02 и методу Лапшина-Орадовской. Радиус I пояса ЗСО – 50,0 м; протяженность II пояса ЗСО с ЮЗ-СВ – 3 600 м, с СВ-ЮВ – 600 м; протяженность III пояса ЗСО с ЮЗ-СВ – 6 450 м, с СВ-ЮВ – 4 200 м. По результатам геоэкологического обследования нарушений естественного ландшафта в пределах ЗСО не выявлено; объектов, которые могли бы создать опасность микробного или химического загрязнения подземных вод не обнаружено.

На текущей стадии исследования оцененные запасы питьевых подземных вод следует отнести к категории забалансовых, так как в подземных водах самого продуктивного горизонта имеются повышенное содержание по ПДК по некоторым показателям и не оценена величина подтягивания соленых вод снизу, из кутузовско-ассельского горизонта, в подземных водах которого зафиксировано превышение ПДК по многим показателям.

## **Литература.**

### *Учебники для ВУЗов*

- 1) Мироненко В.А. Динамика подземных вод: Учебник М: Изд-во МГГУ, 2001, 519с.
- 2) Плотников Н.А. Поиски и разведка пресных подземных вод. М: «Недра», 1985, 368 с.
- 3) Шестаков В.М. Динамика подземных вод: Учебник М: Изд-во МГГУ, 1979, 368с.

### *Монографии:*

- 1) Гидрогеология СССР. Том I. А.В.Сидоренко, Н.В.Роговская, Н.И.Толстихин, В.М.Фомин. М: «Недра», 1966, 424 с.
- 2) Орадовская А.Е., Лапшин Н.Н., Санитарная охрана водозаборов подземных вод. М: «Недра», 1987, 169 с.

### *Нормативные документы:*

- 1) Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. МПР России 2007, 10 с.
- 2) СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения». Минздрав России, 2002, 54 с.
- 3) СанПиН 2.1.4.1074-01. «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Минздрав России, 2001, 77 с.